

ANÁLISE DO DESEMPENHO OPERACIONAL DOS SISTEMAS EUROPEUS DE METRO

TIAGO BRANCO RAMOS

Projeto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Orientador: Professor Doutor Carlos Manuel Rodrigues

SETEMBRO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil – 2011/2012 – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Ao meu Pai
À minha Mãe
À minha Madrinha

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi concretizado com o apoio de algumas pessoas, às quais gostaria de expressar o meu sincero muito obrigado.

Ao Professor Carlos Manuel Rodrigues pela orientação, preocupação, disponibilidade, partilha de informação e opiniões que permitiram a realização deste estudo.

Ao Professor António Fidalgo Couto pela atenção, disponibilidade e pelas ideias e conhecimentos que foram essenciais na conceção deste trabalho.

Ao Eng. António Manuel Lobo pela incansável disponibilidade, auxílio prestado no esclarecimento de todas as questões.

Ao Eng. Pedro Costa, da empresa Metro do Porto, pela disponibilidade e contributo no fornecimento de dados para a elaboração deste estudo.

À Andreia, por todo o companheirismo, o imparável incentivo e a preocupação constante. Representou a linha da frente no apoio e ânimo que conduziram este trabalho a bom porto. Por se descrever como uma pessoa muito especial na minha vida.

À minha família, em especial, à minha Mãe e Madrinha, pelo amor e carinho, pela compreensão, pelo estímulo e por me proporcionarem todas as condições, não só na realização deste trabalho, como durante toda a minha vida académica.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo principal a análise do desempenho operacional de sistemas de metro na União Europeia. Esta análise é feita apenas ao nível da produção, desprezando-se as componentes económicas.

A composição deste estudo é dividida em três fases. A primeira fase incorpora uma descrição da mobilidade em ambiente urbano, qual o papel do metro nas movimentações citadinas e quais as suas vantagens na economia atual.

A segunda parte contempla a recolha de dados sobre as empresas de metro estudadas e escolha dos indicadores que melhor caracterizam os sistemas, assim como os fatores socioeconómicos que compõem a área metropolitana que o metro serve. Para além disso, estabelece-se relações entre indicadores de forma a construir comparações diretas entre empresas e tendências do sistema.

A última parte constitui o cerne do trabalho, com a determinação das elasticidades da função de produção, assim como da eficiência e eficácia que os sistemas de metro demonstram, com recurso a um modelo de fronteira estocástica de produção. Por fim, avalia-se o contributo das variáveis externas na eficácia dos sistemas, e se estes respondem de forma satisfatória às necessidades do meio urbano.

PALAVRAS-CHAVE: sistema de metro, eficiência, eficácia, método estocástico, mobilidade urbana, produção.

ABSTRACT

The main objective of this study is the analysis of operating performance of European metro systems. This analysis was done using only a production function, ignoring the economic components.

This study is composed into three phases. The first phase includes a description of mobility in urban environment, the metro's function on mobility and their advantages in today's economy.

The second part discusses the methodology data collected about metro's enterprises and choose indicators that best characterize the systems as well as variables characterizing socio-economic context of the urban areas where these metro systems operate. In addition, it establishes relationships between indicators in order to build direct comparisons between companies as well as system trends.

The last part is the core of the work, where are determined the elasticities of the optimal production function, as well as the efficiency and effectiveness levels of each company using a stochastic frontier model of production. Finally, it is evaluated the contribution of external variables on the systems's effectiveness, and if they respond satisfactorily to the urban environment's needs.

KEYWORDS: metro systems, efficiency, effectiveness, stochastic model, urban mobility, production.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Objectivos.....	1
1.2. Estrutura.....	2
2 A MOBILIDADE EM AMBIENTE URBANO.....	3
2.1. Contextualização histórica.....	3
2.2. Mobilidade urbana.....	4
2.3. Problemas na atual mobilidade urbana.....	9
2.4. Caracterização generalista do sistema de metro	10
3 CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS EUROPEUS DE METRO	13
3.1. Âmbito do estudo.....	13
3.2. Definição das variáveis.....	15
3.3. Análise estatística das variáveis.....	18
3.4. Caraterização técnica dos sistemas de metro.....	23
4 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA E EFICÁCIA DOS SISTEMAS DE METRO.....	33
4.1. Introdução ao método	33
4.1.1. Função produção de Cobb-Douglas.....	34
4.1.2. Modelo estocástico de fronteira	34
4.2. Remoção de trabalhadores afetos a outros sistemas de transporte	36
4.3. Eficiência e eficácia.....	38
4.3.1. Análise das elasticidades dos <i>inputs</i>	39
4.3.2. Economias de escala	41
4.3.3. Análise das eficácias e eficiências dos metros.....	42
4.4. Interferência das variáveis externas na eficácia.....	45

4.4.1. Metodologia	45
4.4.2. Análise coeficientes de proporcionalidade.....	47
4.4.3. Eficácia externa e eficácia interna.....	48
4.5. Conclusões	51
4.5.1. Comparações com estudos anteriores.....	52
 5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	57
 BIBLIOGRAFIA	59
 ANEXOS	I
A.1. Base de dados.....	I
A.2. Evolução das eficiências e eficácias em cada sistema	XXXI

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Principais objetivos nas viagens geradas (Rodrigue, J.-P., 2009).....	5
Fig. 2.2 – Representação generalista dos movimentos urbanos diários (Rodrigue, J.-P., 2009).....	5
Fig. 2.3 – Deslocação média diária em minutos em países europeus (Rodrigue, J.-P., 2009).....	6
Fig. 2.4 – Relação rendimento <i>per capita</i> e nº de viagens <i>per capita</i> por dia (Rodrigue, J.-P., 2009) ...	7
Fig. 2.5 – Apoio financeiro proveniente do estado nos sistemas de transportes públicos, 2002 (Rodrigue, J.-P., 2009)	8
Fig. 2.6 – Dependência automobilística em 1990 de cidades da América do Norte, Ásia e Europa (Rodrigue, J.-P., 2009)	9
Fig. 2.7 – Área de solo ocupada com infraestruturas dedicadas ao automóvel em 1999 (Rodrigue, J.-P., 2009)	10
Fig. 2.8 – Linha circular	12
Fig. 2.9 – Malha ortogonal	12
Fig. 2.10 - Linear.....	12
Fig. 2.11 - Cruz	12
Fig. 2.12 – Linhas secantes	12
Fig. 3.1 – Localização geográfica dos sistemas de metro	14
Fig. 3.2 – Extensão da rede de cada sistema de metro, em km, para o ano de referência.....	19
Fig. 3.3 – Nº de estações existentes para cada sistema de metro, para o ano de referência	19
Fig. 3.4 – Nº de carruagens em serviço para cada sistema de metro, para o ano de referência.....	20
Fig. 3.5 – Nº de trabalhadores afetos a cada sistema de metro, para o ano de referência	20
Fig. 3.6 - Nº de interseções por 10 km de rede para cada sistema de metro, para o ano de referência .	21
Fig. 3.7 – Densidade populacional para cada área urbana, para o ano de referência	22
Fig. 3.8 – Produto interno bruto <i>per capita</i> para cada área urbana, para o ano de referência.....	23
Fig. 3.9 – Distância média entre estações para cada sistema de metro no ano de referência.....	24
Fig. 3.10 – Número de trabalhadores por km de rede no ano de referência.....	25
Fig. 3.11 – Número de trabalhadores por carruagem no ano de referência.....	25
Fig. 3.12 – Número de veículos por km de rede no ano de referência.....	26
Fig. 3.13 – Número de carruagens.km produzido por km de rede no ano de referência.....	26
Fig. 3.14 – Número médio de passageiros por carruagem por sistema no respetivo ano de referência	27
Fig. 3.15 – Número médio de km percorridos por passageiro no ano de referência.....	28
Fig. 3.16 – Número médio de km efetuado por uma carruagem.....	29
Fig. 3.17 – Relação entre procura e número de interseções por cada 10 km de rede.....	30

Fig. 3.18 – Relação entre o número de passageiros transportados e a dependência demográfica.....	31
Fig. 3.19 – Relação entre taxa de motorização com número de passageiros transportados	32
Fig. 4.1 – Fronteira de produção (Lobo, A.M.C.V., 2008).....	33
Fig. 4.2 – Relação linear entre o número de trabalhadores e o número de carruagens.....	38
Fig. 4.3 – Representação gráfica das eficiências e eficácias dos sistemas de metro	44
Fig. 4.4 – Dispersão dos sistemas de metro por eficiências e eficácias.....	45
Fig. 4.5 – Percentagem da eficácia total de cada sistema devido a fatores internos e a fatores externos	50
Fig. 4.6 – Relação entre a eficácia total e a eficácia externa de cada sistema	51
Fig. 4.7 – Diferenças de resultados de eficiência entre o estudo atual e o estudo de (Lobo, A.M.C.V., 2008).....	54
Fig. 4.8 - Diferenças de resultados de eficácia entre o estudo atual e o estudo de (Lobo, A.M.C.V., 2008).....	54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Valores estatísticos dos principais indicadores internos.....	19
Tabela 3.2 – Estatística das variáveis urbanas consideradas na amostra	22
Tabela 3.3 – Valores estatísticos das distâncias médias entre estações	23
Tabela 3.4 - Valores estatísticos da dependência do número de trabalhadores afetos aos sistemas presentes na amostra com outras variáveis.....	24
Tabela 3.5 – Estatísticas dos rácios indicadores da periodicidade de serviço nos sistemas de metro	25
Tabela 3.6 – Valores estatísticos do número médio de passageiros por carruagem.....	27
Tabela 3.7 – Dados necessários ao cálculo do nº médio de km percorridos por passageiro	28
Tabela 3.8 - Valores estatísticos do número médio de km percorridos por passageiro	29
Tabela 3.9 – Valores estatísticos do número médio de km efetuados por uma carruagem.....	29
Tabela 3.10 – Informação para o cálculo da relação entre dependência demográfica e a procura	30
Tabela 4.1 – Resultado dos coeficientes θ do modelo de regressão linear múltipla	37
Tabela 4.2 - Variáveis que intervêm no cálculo das eficiências e eficácias dos sistemas.....	39
Tabela 4.3 – Elasticidades dos <i>inputs</i> na produção de carruagens.km.....	39
Tabela 4.4 – Elasticidades dos <i>inputs</i> na produção de passageiros por quilómetro de rede	40
Tabela 4.5 – Eficiências e eficácias dos sistemas de metro	43
Tabela 4.6 – Variáveis que integram a equação (4.13)	46
Tabela 4.7 – Coeficientes de proporcionalidade	47
Tabela 4.8 – Percentagens das eficácias externas e internas dos sistemas de metro.....	49

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

α	– Coeficiente da Função de Cobb-Douglas utilizada para regressão linear
β	– Coeficiente da Função de Cobb-Douglas utilizada como função produção
ε	– Desvio composto em relação à função produção
AGREG	– Dimensão média do agregado familiar
ANO	– Ano de exploração
AREA	– Área [km ²]
BAR	– Existência de barreiras à entrada do sistema
CMET	– Existência de sistema de metropolitano concorrente
CREG	– Número de automóveis registados por 1.000 habitantes
CR.KM	– Número de carruagens.km produzidas
CTRA	– Existência de sistema de <i>tram</i> concorrente
DENPOP	– Densidade populacional
DEPDEM	– Dependência demográfica
DES	– Taxa de desemprego
ET	– Eficiência técnica
$E(u \varepsilon)$	– Estimativa pontual do desvio u em cada observação
EXT	– Extensão da rede [km]
NCR	– Número de carruagens
NEST	– Número de estações
NT	– Número de trabalhadores afetos ao sistema de metro
P	– Valor P
PIB	– Produto Interno Bruto <i>per capita</i> [EUR]
POP	– População residente
POP2	– Quadrado da população residente
PS/KM	– Número de passageiros transportados por quilómetro de rede
u	– Componente determinística do desvio em relação à função produção
v	– Componente estocástica do desvio em relação à função produção
x	– <i>Input</i>
y	– <i>Output</i>
LUZ	– <i>Large Urban Zone</i>
UE	– União Europeia

1

INTRODUÇÃO

O modo comportamental da sociedade em áreas urbanas desenvolvidas exige elevadas necessidades de mobilidade. A satisfação desta necessidade é realizada, essencialmente, com recurso ao transporte privado devido à comodidade e liberdade de movimentos que concede ao utente. Contudo, o aumento dos combustíveis fósseis e o congestionamento das infraestruturas viárias aliados às crescentes preocupações ambientais têm vindo a conduzir a uma consciencialização de mobilidade sustentável na sociedade.

A mobilidade sustentável assenta, essencialmente, no uso de transportes públicos em detrimento do uso de transportes individuais. Assim, mesmo de entre os transportes públicos, o transporte ferroviário transpõe como um meio de transporte com mais vantagens económicas devido ao baixo custo de funcionamento e à elevada capacidade de transporte quando comparado com o transporte rodoviário. O metro aparece assim como um transporte ferroviário destinado a deslocações dentro da área urbana que tem revelado um aumento gradual nas populações transportadas ao longo dos anos.

Porém, os transportes públicos são, geralmente, geridos por empresas públicas que encaram o transporte como um serviço de utilidade pública, confinando os interesses económicos para segundo plano, atuando, por isso, em dificuldades financeiras e apresentando, frequentemente, défices económicos que têm que ser suportados por toda a sociedade, incluindo os cidadãos que não têm acesso a este meio de transporte.

Porém, apesar dessa visão social, a produção do serviço pode ser maximizada de forma a não existir desperdício de recursos, ou seja, deve-se procurar tornar os sistemas de metro eficientes sem comprometer as necessidades dos utentes.

1.1. OBJETIVOS

A realização deste estudo tem como objetivo principal, sem abordar os balanços financeiros dos sistemas de metro, analisar o desempenho operacional de sistemas de metro ao nível da União Europeia (UE). Esta análise será decomposta em quatro elementos:

- A primeira componente da análise foca-se na variação da quantidade de serviço produzida introduzindo oscilações nas quantidades dos fatores produtivos. Esta análise reporta-se a um panorama geral de todos os metros estudados;
- No segundo elemento estima-se a eficiência técnica de cada sistema de metro.

- Numa terceira parte são extraídos alguns indicadores externos, ou seja fatores que estão associados ao ambiente urbano em que o sistema se insere, e analisa-se como influenciam a eficiência técnica de um modo global para os metros estudados;
- Por último, pretende-se verificar se os metros abordados neste estudo respondem de forma eficaz às necessidades da zona urbana em que se inserem.

Para além dos objetivos traçados, este estudo permitirá expandir e aprimorar uma base de dados existente, e desenvolvida inicialmente por (Lobo, A.M.C.V., 2008), com informação técnica sobre sistemas de metro de modo que possa ser usada em estudos futuros.

1.2. ESTRUTURA

O presente trabalho encontra-se estruturado, para além deste primeiro dedicado à introdução, em mais quatro capítulos.

O segundo capítulo trata de forma genérica da mobilidade em ambiente urbano, onde contempla uma breve contextualização histórica sobre a intensificação da necessidade de mobilidade nas áreas metropolitanas. Contém, também, uma caracterização sobre os movimentos urbanos, os modos de transporte mais frequentes e os principais problemas da mobilidade urbana na atualidade. Para além disso, é apresentada uma definição geral do sistema de metro.

O capítulo 3 inicia o desenvolvimento do estudo protagonizado neste trabalho, contendo a descrição da base de dados necessária para este estudo. Assim, o capítulo refere a metodologia de pesquisa abordada, o ambiente geográfico e temporal escolhido nos dados recolhidos, assim como a definição das variáveis que constituem a base de dados. Este capítulo estabelece relações entre variáveis procurando identificar ligações diretas entre sistemas e de modo a descrever genericamente os sistemas de metro que intervêm no estudo.

O quarto capítulo responde concretamente aos objetivos deste estudo. Nele também consta primeiramente uma introdução teórica sobre o conceito de eficiência técnica e os pressupostos do cálculo, as transformações à base de dados necessárias e um subcapítulo que resume todas as conclusões constatadas na resposta aos objetivos.

O capítulo 5 é a conclusão do trabalho, onde se reforça de forma sintética as conclusões alcançadas no quarto capítulo e opina-se sobre possíveis alterações e aperfeiçoamentos em desenvolvimentos futuros.

2

A MOBILIDADE EM AMBIENTE URBANO

2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

No final século XVIII com o aparecimento da máquina a vapor, Inglaterra demarcou-se como pioneira na transição da produção artesanal para a era moderna, na Primeira Revolução Industrial, fenómeno que rapidamente se alastrou ao mundo. Este marco histórico traduziu-se num impacto transversal profundo nas vivências da época. O processo fabril intensificou-se e proporcionou a expansão e criação de novas áreas de negócios. Intensificou-se a necessidade de mão-de-obra em espaço urbano e, consequentemente, instituíram-se leis na tentativa de uniformizar as condições laborais. Esta melhoria na qualidade de vida fermentou a migração rural e traduziu-se num aumento do poder de compra nas cidades industrializadas. Por outro lado, a mutação citadina implicou uma necessidade de expansão dos limites urbanos, que fomentou uma crescente necessidade de mobilidade.

Efetivamente, a necessidade aliada ao avanço tecnológico permitiu a entrada de inovações na circulação de bens e pessoas sem o recurso à tração animal. Surgiu, então, o comboio a vapor, um meio de transporte revolucionário que introduziu um aumento exponencial na capacidade de transporte e rapidez. Na mesma perspetiva nasce, em Londres no ano de 1863, o sistema de metro, ou metropolitano, que introduz o comboio a vapor em túneis subterrâneos com o intuito de transportar grandes massas dos centros habitacionais para o centro urbano. Contudo, as infraestruturas que serviam o transporte não estavam devidamente acondicionadas para a dissipação do fumo resultante da locomoção o que motivou uma menor adesão por parte do público-alvo. Porém, em 1890, após a Segunda Revolução Industrial, com a eletrificação da primeira linha de metro os resíduos excedentes do transporte metropolitano foram, praticamente, extintos, projetando este meio de transporte. Após o crescente sucesso da experiência na capital inglesa com linhas elétricas outras cidades introduziram o sistema de metro, nomeadamente, Budapeste, Paris, Boston e Berlim. Em Portugal, o metro foi implementado, em Lisboa, em 1959.

Após a Segunda Grande Guerra, a população residente em ambiente urbano duplicou e, atualmente, mais de metade da população reside em área urbana, fenómeno que continuará a manifestar-se, sobretudo em países em desenvolvimento. Este fator foi preponderante na expansão citadina que, na Europa se evidenciou, quase sempre, como uma evolução espacial circundante ao núcleo central, por este conservar uma natureza histórica. Também esta dilatação foi, primeiramente, difundida segundo as principais artérias de circulação, pois com o desenvolvimento do motor a combustão, o transporte individual ganhou força e tornou-se o meio de deslocação mais usado. Posteriormente, os espaços ermos entre artérias foram progressivamente ocupados formando os subúrbios.

O século XXI tem-se definido como um período de consciência ambiental e de preocupações económicas na Europa. Assim sendo, o transporte de serviço porta-a-porta tem vindo a conter-se nos centros urbanos quer por motivos relacionados com os encargos financeiros sobre os combustíveis, quer com medidas aplicadas pelas entidades reguladoras dos espaços citadinos, ou nacionais, com o intuito de evitar elevadas emissões de poluição atmosférica, tanto para evitar a deterioração de fachadas históricas como na tentativa de cumprir as cotas de poluição atribuídas no Regime Comunitário de Licenças de Emissão, no caso de países da União Europeia, e o Tratado de Kyoto. Efetivamente, a busca por um desenvolvimento sustentável e a consequente sucessão de congestionamento rodoviário produziu um estímulo no sector de transporte coletivo ferroviário, que responde aos dois problemas de forma eficiente por funcionar a energia elétrica, livre de emissões, e em canal próprio. Contudo, nos dias correntes, também se iniciou uma atualização do transporte público rodoviário para uma motorização com combustíveis alternativos e mais sustentáveis, como o gás natural ou mais recentemente o hidrogénio. Por conseguinte, tem-se assistido ao desenvolvimento de novos sistemas de metro, mesmo em cidades de características medianas, e alargamento/modernização dos atuais, sempre procurando uma interoperacionalidade com os restantes transportes públicos.

2.2. MOBILIDADE URBANA

A mobilidade nas cidades é causa e consequência do desenvolvimento urbano, ou seja, é motor de diversas atividades económicas e sociais. Define-se como uma deslocação no espaço que tem uma origem, um potencial conjunto de paragens intermédias, um destino, efetua-se em infraestruturas vigentes na geografia urbana e com recurso ao transporte urbano.

As deslocações exibem uma relação entre o uso de terreno e as necessidades socioeconómicas, que apesar de complexa, expõe uma ligação entre rendimentos, repetibilidades, nível de desenvolvimento tecnológico e forma urbana. Assim sendo, os movimentos urbanos são obrigatórios ou voluntários. Revelam ser obrigatórios quando o passageiro cumpre uma atividade programada e tendem a ser deslocações repetitivas. Por outro lado, nos movimentos voluntários o indivíduo gerador da viagem tem liberdade para decidir a causa da sua deslocação, normalmente exibindo um caráter lúdico. Deste modo, os movimentos urbanos mais comuns são:

- Movimentos pendulares – normalmente descritos como as deslocações entre o local de trabalho, ou estudo, e a residência, ou seja, desenham um comportamento cíclico.
- Movimentos de caráter profissional – ocorrem por um motivo profissional, ocorrendo, predominantemente, dentro do horário laboral.
- Movimentos de caráter pessoal – movimentos voluntários com um fim de lazer ou de satisfazer necessidades de natureza pessoal.
- Movimentos de caráter turístico – são frequentes em cidades com caráter lúdico e/ou com património histórico, intensificam-se sazonalmente ou com acontecimentos extraordinários.
- Movimentos de distribuição – visam a distribuição de mercadorias de modo a satisfazer o consumo e a produção.

A ponderação de um movimento espacial tem subjacente as seguintes características: fator gerador da viagem, roteamento da viagem, destino da viagem e a repartição modal. O fator gerador da viagem

corresponde ao motivo e visa, geralmente, satisfazer um objetivo. As principais causas de deslocação segundo (Rodrigue, J.-P., 2009) encontram-se descritas na Fig. 2.1.

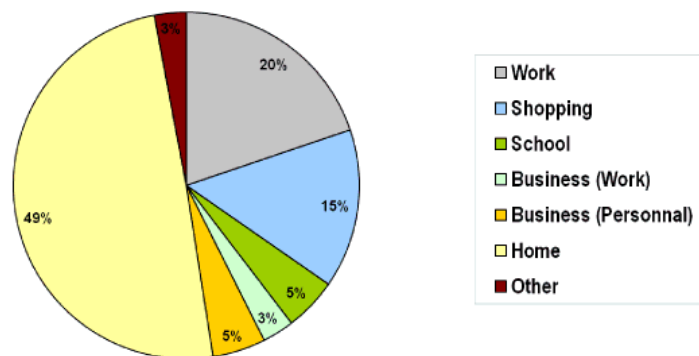


Fig. 2.1 – Principais objetivos nas viagens geradas (Rodrigue, J.-P., 2009)

Verifica-se que quase metade (49%) das viagens geradas visam como destino a residência. Tal fato é consequência de, praticamente, todos os movimentos retornarem ao local de origem. Por sua vez, durante o dia cada indivíduo realiza diversas deslocações associadas a diferentes motivos como indica a Fig. 2.2, onde é perceptível o padrão pendular formando dois momentos com um elevado fluxo de viagens designados por horas de ponta. Salva-guarda-se que ambas as distribuições de viagens representadas variam consoante a configuração urbana em que se inserem.

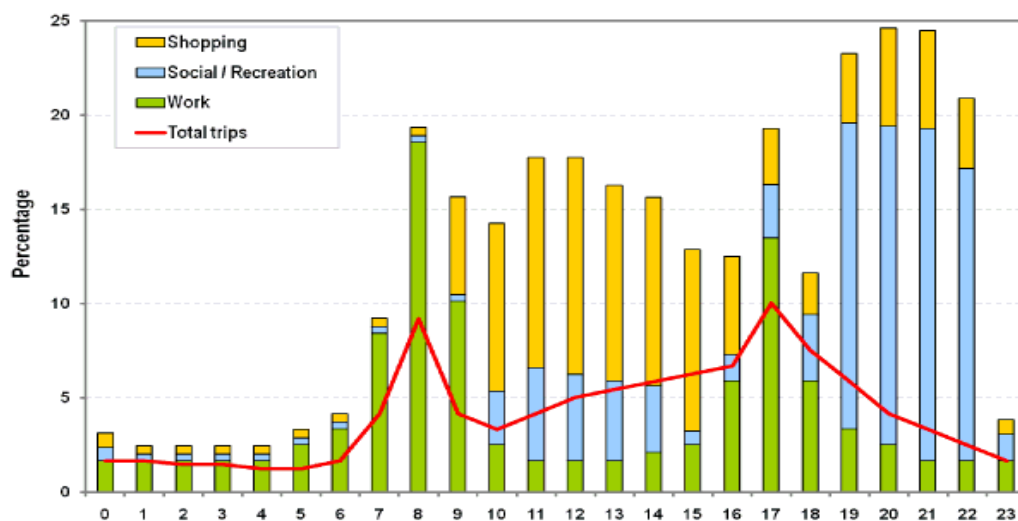


Fig. 2.2 – Representação generalista dos movimentos urbanos diários (Rodrigue, J.-P., 2009)

O roteamento da viagem determina o caminho a percorrer para alcançar o destino. Esta escolha é condicionada por fatores que podem conduzir a uma alteração da rota, como por exemplo, congestionamento, custos adicionais (portagens) ou disponibilidade modal. O destino da viagem é afetado da distribuição espacial da atividade visada.

Finalmente, a repartição modal é o meio de transporte urbano escolhido para efetuar a deslocação. Efetivamente, o transporte urbano assenta em duas grandes categorias: transporte de passageiros e transporte de mercadorias. O transporte de passageiros subdivide-se em transportes coletivos e transporte individual. Os transportes de mercadoria caracterizam, maioritariamente, movimentos entre núcleos industriais, centros de distribuição, armazéns e vendedores a retalho. Considera-se negligenciáveis as deslocações efetuadas dentro da cidade. O transporte público, ou transporte

coletivo, oferece um serviço público que se destina a proporcionar mobilidade sobre zonas específicas do tecido urbano. Inserem-se neste conceito o autocarro, o metro, o *tram*, o comboio. Por sua vez, encaixa-se na definição de transporte individual qualquer modo de locomoção onde a mobilidade seja resultado de uma decisão pessoal, por exemplo automóvel, bicicleta ou caminhar.

Averigua-se que a escolha modal é, frequentemente, associada às condições económicas, existindo um significado elitista inerente ao uso de transporte individual, especialmente do automóvel, que contrasta com o preço acessível praticado, geralmente, pelos transportes públicos. A adoção do modo de transporte é, ainda, mutável de acordo com fatores como a faixa etária e género do indivíduo, se é portador de uma deficiência e as condições que o meio urbano proporciona ao cidadão no uso de transporte individual e coletivo.

Apesar da escolha modal exercida, verifica-se que ao longo do último século, o tempo médio diário de trajeto se manteve, consideravelmente, constante em uma hora apesar do aumento das distâncias percorridas (Rodrigue, J.-P., 2009). Tal aumento resulta da expansão rápida dos limites urbanos, motivado por cidadãos que se afastam do núcleo citadino na perspetiva de obter uma residência mais económica e que consequentemente se traduz num aumento do número de pessoas a viajar e na quantidade de mercadorias a transportar. A Fig. 2.3 mostra a duração de deslocação média diária em alguns países europeus para o ano de 2002, que, como se pode verificar, é sempre inferior a uma hora.

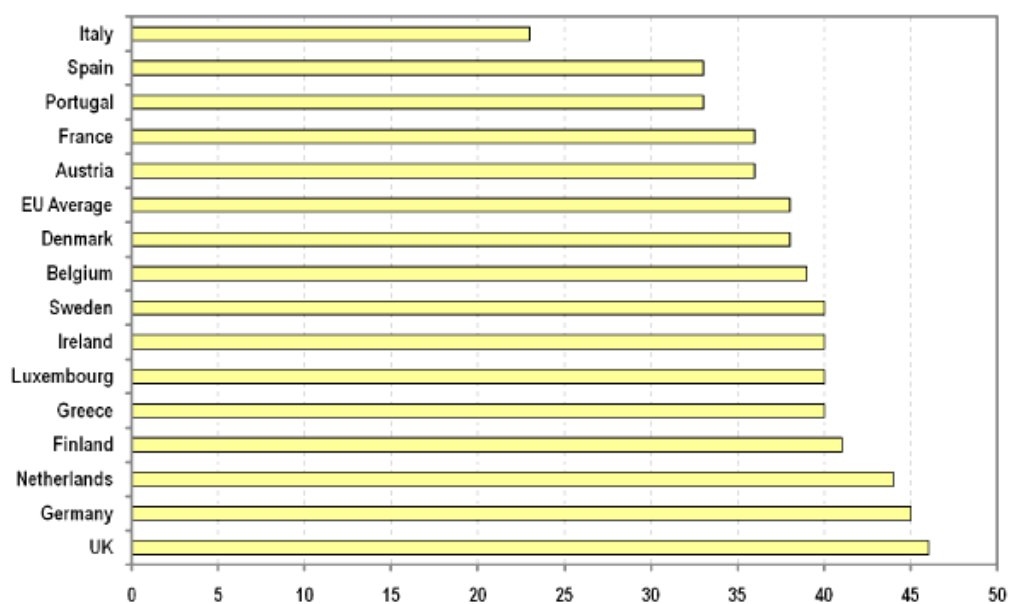


Fig. 2.3 – Deslocação média diária em minutos em países europeus (Rodrigue, J.-P., 2009)

O rendimento *per capita* não interfere apenas na escolha modal como também na quantidade de movimentos que cada pessoa faz. Assim sendo, indivíduos mais abastados manifestam uma quantidade de movimentos voluntários superior a classes sociais com rendimentos inferiores. Esta proporcionalidade é, praticamente, anulada quando se fala de movimentos obrigatórios, verificando-se que o número de viagens para o local de trabalho não sofre alterações representativas com o aumento do rendimento *per capita*. Esta relação observa-se na Fig. 2.4.

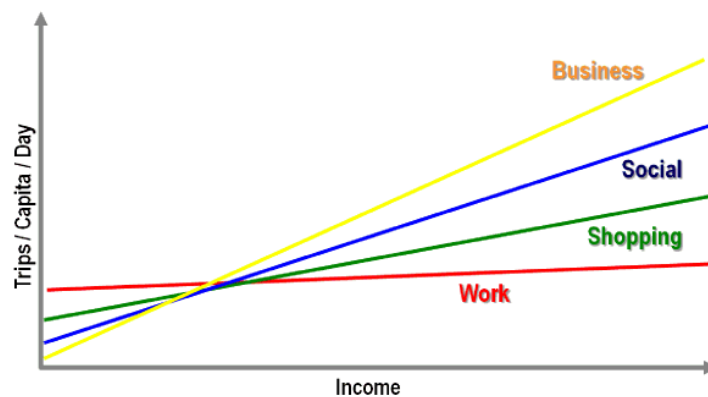


Fig. 2.4 – Relação rendimento *per capita* e nº de viagens *per capita* por dia (Rodrigue, J.-P., 2009)

Por outro lado, verifica-se que quando o sistema de transporte urbano está, perfeitamente, embebido nas ações socioeconómicas do quotidiano citadino é, frequentemente, um serviço dado como adquirido para o consumidor. Este paradoxo dita que a perceção camuflada do serviço de transportes por parte do utente deriva da sua eficiência.

Contudo, a eficiência dos transportes públicos depende da área urbana em que se inserem. Efetivamente, verifica-se que os transportes públicos obtêm maior sucesso em grandes aglomerações urbanas devido, sobretudo, a dois fatores: elevada densidade populacional e exigências de deslocações de curta distância. De fato, constata-se que baixa densidade populacional se traduz numa menor procura pelo que o sistema será subutilizado, ou seja, gera prejuízo.

Na ótica de evitar sobre e subutilizações dos transportes coletivos, existem diferentes modos neste tipo de transportes, cada um concebido para um serviço específico. Este serviço determinado com base em fatores como: capacidade de transporte, frequência pretendida, flexibilidade, custos e distância entre paragens. Assim sendo, pode-se distinguir entre os transportes públicos os seguintes modos:

- Sistema de metro – sistema ferroviário pesado, frequentemente, subterrâneo com rotas fixas que possui elevada capacidade de transporte, uma frequência de serviço elevada e uniforme durante todo o funcionamento, com tendência para aumentar nas horas de ponta. Exibem sempre estações que interagem com os restantes sistemas de transporte urbano e interurbano. Distância entre estações: 0,5 a 1,5 km.
- Sistema de autocarros – sistema composto por veículos motorizados com um elevado número de linhas e uma malha mais apertada de paragens. Atua, muitas vezes, como distribuidor de passageiros provenientes de sistemas de transporte pesados como o metro e o comboio. Distância entre estações: 0,2 a 0,5 km.
- Sistema de *tram* – sistema ferroviário que opera, geralmente, nos núcleos centrais da cidade em canal partilhado. Pode ser também designado por elétrico. Distância entre estações: 1 a 3 km.
- Sistema ferroviário – sistema ferroviário convencional designado por comboio desenvolvido para o transporte interurbano e ligações às periferias. Exibe baixa frequência e desequilibrada durante o seu funcionamento, favorecendo as horas de ponta. Distância entre estações: 3 a 10 km.
- Sistemas de táxi – propõem serviço individualizado e completamente adequado às necessidades do utente, não tendo rotas fixas. Assim sendo, demonstra uma baixa

capacidade de transporte, funcionamento a pedido do cliente e um custo superior a todos os outros sistemas de transporte quando relacionado com a distância.

Contudo, com a exceção do serviço de táxis, todos os sistemas de transporte coletivos tendem a ser propriedade do estado. Isto gera uma adoção de medidas na gestão interna do sistema do fórum político, pois a empresa visa o transporte como sendo um serviço social que promove equidade na mobilidade, e não um serviço que pretende assegurar um crescimento económico. Com efeito, tal como qualquer companhia que não gera lucro, as companhias de transportes públicas precisam de recorrer a subsídios governamentais para continuar a sua produção. Esta aquisição pública das empresas de transporte urbano convergem na inexistência de outras companhias a oferecer os mesmos serviços. Como resultado da inexistência de concorrência as empresas desligam-se das forças do mercado que impulsiona o aperfeiçoamento do serviço prestado.

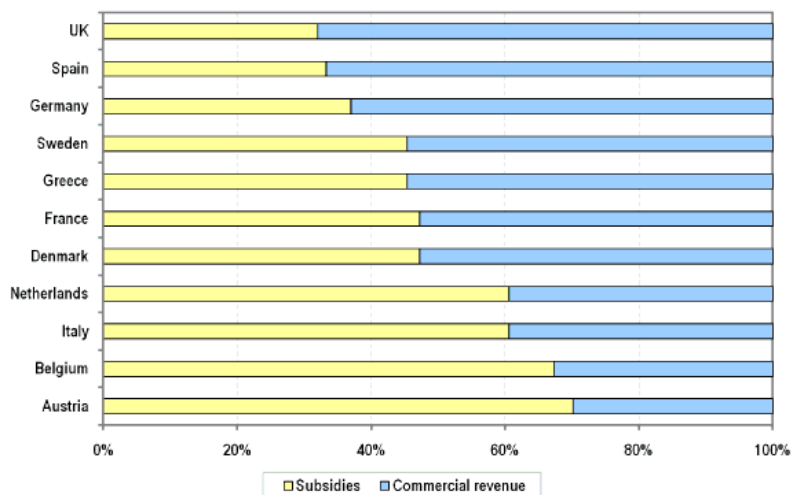


Fig. 2.5 – Apoio financeiro proveniente do estado nos sistemas de transportes públicos, 2002

(Rodrigue, J.-P., 2009)

Deste modo, a insatisfação nos sistemas de transporte coletivos apoia a tendência dependente do uso do automóvel. Na Fig. 2.6 é possível constatar que nas cidades europeias a percentagem dos sistemas de transporte públicos no mercado de movimentos situa-se entre 10 a 30%. Isto significa que entre 70 a 90% das deslocações efetuadas são em transporte individual.

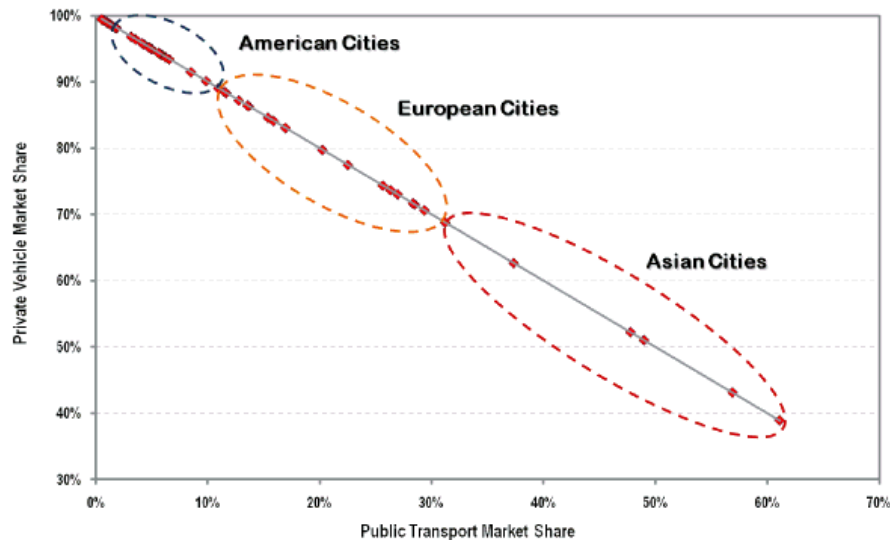


Fig. 2.6 – Dependência automobilística em 1990 de cidades da América do Norte, Ásia e Europa
(Rodrigue, J.-P., 2009)

Atualmente, a urbanização moderna tenta a interligação dos serviços de transporte coletivos com o planeamento urbano na tentativa de aumentar o uso de transportes alternativos e combater a dependência automóvel. No entanto, os transportes públicos padecem de uma conotação negativa sobre independência na mobilidade, associando ao automóvel o dogma de sucesso económico.

2.3. PROBLEMAS NA ATUAL MOBILIDADE URBANA

Tal como visto anteriormente, a simbiose entre a forma urbana e a mobilidade define o comportamento metropolitano. Assim sendo, uma área urbana é tão competitiva quanto mais eficientes forem os seus sistemas de transporte. Porém, quanto maior a dimensão da cidade mais atividades aglomera, mais complexa é a sua gestão e, consequentemente, existem mais probabilidades de os sistemas de transporte não conseguirem satisfazer as necessidades de mobilidade urbana.

Atualmente, os principais motivos que provocam rotura nos transportes urbanos são:

- Congestionamento – ocorre quando a procura excede a capacidade máxima que a infraestrutura viária proporciona ou com eventos extraordinários, como acidentes rodoviários. Verifica-se frequente sobretudo em aglomerações urbanas acima de 1 milhão de habitantes e está intrinsecamente conectado à expansão automóvel.
- Insuficiência dos transportes públicos – relação entre a oferta e a procura deficiente. Verifica-se que muitos transportes públicos não adequam a sua oferta à procura social, ou seja, durante as horas de ponta a acumulação de passageiros é excessiva gerando desconforto. Por outro lado, no restante horário o número de utentes é significativamente baixo o que se traduz num serviço financeiramente insustentável.
- Falta apoio a veículos não motorizados – resulta da insuficiência de infraestruturas que protejam e contribuam para uma adoção de meios como bicicletas, como por exemplo faixas dedicadas e segregadas do tráfego.
- Parqueamento insuficiente – os veículos precisam de ser estacionados uma vez alcançado o destino. Com a difusão automóvel o espaço necessário para conter esta exigência

precisa de ser amplamente alargado. Isto produz problemas no consumo do espaço disponível, sobretudo nos núcleos urbanos. Verifica-se ainda uma relação entre a procura de um lugar disponível para aparcar o automóvel e a produção de atrasos no trânsito e consequente congestionamento.

- Acidentes rodoviários – o aumento de tráfego automóvel gera um maior grau de sinistralidade, e consequentemente uma maior insegurança por parte das pessoas.
- Impactos ambientais e consumo de energia – a poluição, incluindo sonora, gerado pelo tráfego constitui um grave problema nas áreas urbanas, danificando a qualidade de vida dos cidadãos, o sistema ecológico e o património arquitectónico. Para além disso, o consumo de produtos derivados do petróleo disparou valorizando o preço desse produtor energético.
- Consumo de área urbana – a ocupação das infraestruturas necessárias à mobilidade, mas sobretudo ao uso do automóvel, em solo urbano representa parte significativa do solo total. Na Fig. 2.7 estão disponíveis dados da área de solo ocupada pelo automóvel em 1999.

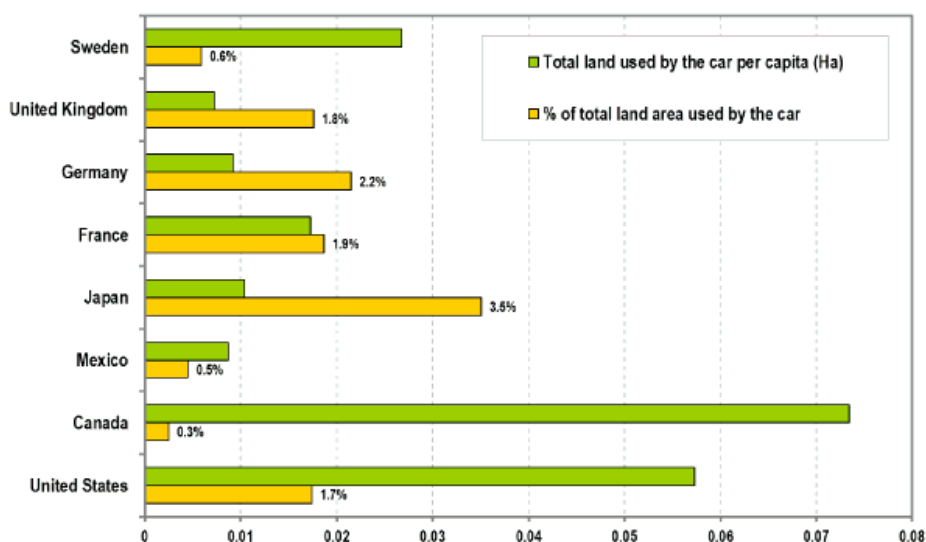


Fig. 2.7 – Área de solo ocupada com infraestruturas dedicadas ao automóvel em 1999 (Rodrigue, J.-P., 2009)

Como se pode constatar, muitos destes problemas estão relacionados com a crescente adoção do uso do automóvel como meio privilegiado de locomoção. Portanto, a resolução visa uma alteração no consumo da mobilidade via automóvel para um consumo por transportes públicos. Deste modo, os sistemas de transporte coletivo têm de encontrar uma fórmula que responda ao problema gerado de como servir aglomerações de baixas densidades, causados com a dispersão do território urbano em vigor, de uma forma economicamente sustentável.

2.4. CARACTERIZAÇÃO GENERALISTA DO SISTEMA DE METRO

A presente dissertação visa como objetivo determinar a eficiência e eficácia do sistema do metro. Portanto, neste subcapítulo procede-se a uma caracterização mais cuidada deste transporte público.

O sistema de metro é um reflexo do desenvolvimento urbano, de tal forma que, principalmente nos sistemas mais históricos, atua como espinha dorsal dos meios de transporte citadinos. Contudo, e

apesar de uma génese comum, a expansão do metro foi adaptada às exigências geográficas, sociais e políticas do meio urbano. Assim, atualmente o metro pode estender-se para além do núcleo citadino em troços à superfície, subsolo ou plataformas elevadas.

Contudo, designa-se por sistema de metro convencional, ou pesado, qualquer sistema de transporte que respeite o seguinte conjunto de características:

- Consome eletricidade;
- Tempo de espera reduzido para o utente devido a uma elevada frequência na circulação;
- Circula em canal próprio, segregado do tráfego rodoviário;
- Tende a transportar um elevado fluxo de passageiros por hora.

Frequentemente, a cidade não está equipada com um sistema de metro tradicional, mas com um metropolitano ligeiro (*Light Rail*). Na verdade, a definição de metro ligeiro é em tudo semelhante ao elétrico (*tram*), com a diferenciação de circular em canal próprio, ou seja, sem interferência do tráfego rodoviário, uma menor capacidade de transporte e, apesar de circular maioritariamente à superfície, pode ter troços enterrados. Verifica-se ainda que, ao contrário do metropolitano pesado, o metro ligeiro pode ter cruzamentos de nível com o tráfego automóvel sobre o qual tem sempre prioridade.

Outro sistema que se insere dentro das características de um transporte *Light Rail* é o *tram-train*. A particularidade deste sistema é a comutação entre as redes de circulação para metros ligeiros e os convencionais canais ferroviários. Assim sendo, este meio de locomoção tem como objetivo um transporte interurbano.

Com o avanço tecnológico, desde o início dos anos 90 vários sistemas de metro foram automatizados, dispensando uma condução manual. Atualmente existem 34 sistemas de metro, em toda a sua extensão ou apenas parcialmente, com circulação automática. Entre os quais se inserem os sistemas de metro de Barcelona, Londres, Nuremberga e Turim abordados neste estudo.

No que diz respeito aos diagramas da rede de metro, as configurações podem ser diversas. As razões que condicionam esta heterogeneidade podem ter génese em diferentes âmbitos, contudo, questões de índole geográfica influenciam, quase sempre, no traçado. Efetivamente, não é possível, ou de interesse económico, transpor barreiras naturais como cursos de água demasiado largos ou zonas montanhosas. Outro fator é procurar corresponder às necessidades da cidade sem nunca esquecer a interação com outros sistemas de transporte coletivo.

Ainda assim, é possível caracterizar os diagramas mais frequentes. Estes podem se dividir nas seguintes tipologias:

- Circular (Fig. 2.8);
- Malha ortogonal (Fig. 2.9);
- Linear (Fig. 2.10);
- Em cruz (Fig. 2.11);
- Linhas secantes (Fig. 2.12).

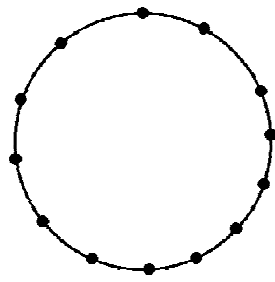


Fig. 2.8 – Linha circular

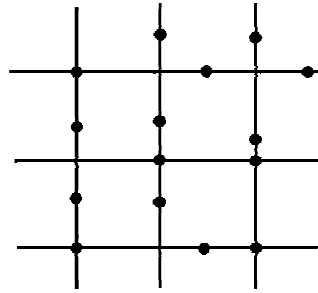


Fig. 2.9 – Malha ortogonal



Fig. 2.10 - Linear

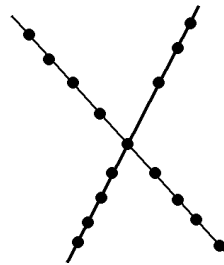


Fig. 2.11 - Cruz

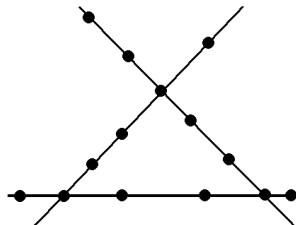


Fig. 2.12 – Linhas secantes

Frequentemente assiste-se a uma mistura entre várias tipologias, como por exemplo o sistema de metro de Bruxelas que tem uma linha circular e linhas secantes.

Relativamente às infraestruturas que o sistema de metro necessita baseiam-se em estações de acesso ao sistema, muitas vezes em subsolo ou em plataformas elevadas, que acompanham uma ou mais linhas e que se encontram espaçadas com uma distância, aproximadamente, semelhante. Constitui ainda infraestrutura os canais de circulação, equipados, quase sempre, com um terceiro carril que fornece a energia ao veículo.

Assim sendo, o metro é um sistema de transporte comum e essencial em cidades com excesso de tráfego rodoviário, com elevada capacidade de transporte, baixos custos de circulação e reduzidos impactos ambientais.

3

CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS EUROPEUS DE METRO

3.1. ÂMBITO DO ESTUDO

Para a concretização do objetivo a que esta dissertação se propõe foi necessário o recurso à compilação numa base de dados de todas as variáveis respeitantes à caracterização dos sistemas de metro existentes na Europa. Efetivamente definiu-se como base de estudo sistemas de metro que estejam inseridos num ambiente cultural e histórico semelhante e sujeitos a regras de uma entidade internacional, neste caso a União Europeia.

Deste modo, circunscreveu-se a eleição aos 62 sistemas de metros convencionais existentes em cidades da comunidade europeia. Contudo, nem todos os sistemas de metro foram considerados na base de dados devido à organização e disponibilidade de informação, pelo que apenas se reuniu informação referente a 20 sistemas de metro que se inserem nas seguintes áreas metropolitanas (Fig. 3.1):

- Barcelona (1999 a 2011);
- Berlim (2002 a 2010);
- Bruxelas (2003 a 2010);
- Budapeste (1996 a 2010);
- Düsseldorf (2003 a 2011);
- Essen (2000 a 2009);
- Frankfurt (2000 a 2010);
- Glasgow (1997 a 1998);
- Hamburgo (2003 a 2010);
- Helsínquia (2001 a 2011);
- Lisboa (1993 a 2011);
- Londres (1994 a 1998, 2002 a 2006 e 2010 a 2011);
- Madrid (1997 a 1998 e 2000 a 2010);
- Milão (1990 a 2005);
- Munique (2005 a 2010);

- Paris (1992 a 2010);
- Porto (2003 a 2011);
- Praga (2002 a 2010);
- Roma (2001 a 2010);
- Turim (2006 e 2008 a 2011).

O espaço temporal de observações de cada sistema foi restrito a anos posteriores a 1990 e de acordo com a informação disponibilizada por cada operadora.

A combinação entre as condições espaciais e os diferentes períodos temporais resultou num total de 216 observações.



Fig. 3.1 – Localização geográfica dos sistemas de metro

3.2. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

As variáveis que se consideraram na base de dados tentam representar e explorar as duas vertentes que integram um sistema de metro, constituindo dois grupos distintos de indicadores.

Em primeiro lugar, o grupo de indicadores internos caracteriza o funcionamento do metropolitano, tal como a oferta e a procura, assim como as infraestruturas, o material circulante e a proporção de funcionários afetos ao sistema.

Por outro lado, os indicadores externos pretendem retratar e diferenciar os meios urbanos em que o metro se insere, contemplando indicadores demográficos, sociais e económicos.

O método de pesquisa assenta, praticamente, todo na informação disponibilizada na *Internet*, meio pelo qual todas as empresas abordadas neste estudo divulgam informação. Efetivamente, a informação relativa às variáveis internas proveio dos relatórios anuais disponibilizados no *site* de cada entidade responsável. Contudo, constatou-se que a maioria das empresas estudadas aglomera mais que um sistema de transporte público na área metropolitana. Esta fusão comportou dificuldades na recolha da informação pois, indisponibiliza, frequentemente, os dados individualizados por sistema de transporte nos relatórios da empresa. Para além disso, dificuldades como a dispersão de informação por diferentes documentos bem como a inexistência de informação foram entraves para uma adoção de outros sistemas de metro. Também por uma coerência na quantificação da informação relativa aos indicadores externos apenas se recorreu às bases de dados estatísticas presentes no *site* do Eurostat, entidade responsável pela harmonização dos dados estatísticos dentro da União Europeia.

Com base na premissa que cada sistema de metro serve toda a área metropolitana onde se insere, o Eurostat define o conceito de *Large Urban Zone* (LUZ), ou seja, uma definição padronizada de zona metropolitana, empregue em todas as variáveis de definição urbanas. Todavia, todos os indicadores externos retratam apenas anos de referência, pelo que nos intervalos temporais vazios admitiu-se uma variação com taxa de crescimento anual constante entre períodos de tempo inferiores a 4 anos. Nos casos em que o intervalo temporal seja superior, adotou-se um crescimento anual semelhante ao que ocorreu no respetivo país (dados também disponíveis no *site* do Eurostat). Assim sendo, a distorção entre os valores reais e considerados neste estudo é pouco significativa.

Deste modo, cada observação traduz-se num vetor composto por variáveis internas e externas que retrata um determinado ano no respectivo sistema de metro.

Os indicadores internos, ou do sistema, subdividem-se em 4 categorias, segundo a seguinte organização:

- Variáveis de capital:
 - i. Extensão da rede em km;
 - ii. Número de linhas que constituem a rede;
 - iii. Número de estações existentes na rede;
 - iv. Número de comboios;
 - v. Número de carruagens;
- Variável de mão-de-obra:
 - i. Número de trabalhadores afetos ao sistema;
- Variáveis de serviço:

- i. Número de carruagens.km produzidas;
- ii. Número de lugares.km produzidos;
- iii. Número de passageiros.km transportados;
- iv. Número de passageiros transportados
- Variáveis de intra-mobilidade:
 - i. Número de interseções entre linhas por km de rede;
 - ii. Existência de barreiras à entrada do sistema de metro.

Assim, as variáveis de capital intentam representar o capital da companhia de metro, ou seja, os recursos que a empresa dispõe indispensáveis à operação de produção através nomeadamente das infraestruturas e do material circulante.

Por outro lado, a variável de mão-de-obra expõe a força laboral necessária para funcionamento do sistema e engloba todos os trabalhadores a tempo inteiro, inclusive quadros administrativos. Constatase, ainda, que esta foi a única variável sobre a qual não foi possível a recolha de informação individual para o sistema de metro, pelo que foi necessário um tratamento adicional dos dados como se verá no capítulo 4.

As variáveis de serviço procuram caracterizar a oferta proporcionada e a procura por parte dos utentes, ou seja, são os *outputs* gerados e capturados pelo sistema.

Por fim, as variáveis de intra-mobilidade representam a conexão interna da rede e a adaptação que os utilizadores têm em relação ao sistema de metro com o recurso a duas variáveis, a presença de barreiras à entrada do metropolitano e o número de cruzamentos entre diferentes linhas da rede. O primeiro indicador deste grupo de variáveis traduz a facilidade em permitir ao utente de viajar indevidamente, e compreende-se como uma variável binária (1 – existe barreira; 0 – não existe barreira). A segunda variável tenta reproduzir a conexão entre as diferentes linhas do metro que integram a rede. Esta avaliação baseia-se na premissa que um maior número de nós na rede a intersectar mais que uma linha de metro se traduz numa maior diversificação de destinos, assim como, em troços de canais que partilham mais que uma linha, os nós de convergência e divergência entre linhas proporcionam uma frequência mais elevada, o que conduz, igualmente, uma maior comodidade oferecida aos utentes. Contudo, devido à escassez da disponibilidade de mapas antigos, para todo o espaço temporal e sistemas abordados, a informação deste indicador é apenas para os diagramas de rede à data corrente.

De facto, nenhuma das variáveis internas comporta uma avaliação financeira direta das empresas. Esta opção é reflexo de uma desigualdade nos padrões económicos de cada país, contudo, o conjunto de variáveis traduzem os custos e ganhos de cada companhia por um meio não monetário.

Por seu turno, os indicadores externos, ou urbanos, também se subdividem em 6 grupos, sendo eles:

- Variável de extensão:
 - i. Área em km² que delimita a LUZ (*Large Urban Zone*) em que se insere o sistema metropolitano;
- Variáveis demográficas:
 - i. População residente na LUZ;
 - ii. Dependência demográfica;

- iii. Dimensão média do agregado familiar;
- iv. Densidade populacional em habitantes por km²;
- Variáveis económicas:
 - i. Produto Interno Bruto *per capita* dado em Euros;
 - ii. Taxa de desemprego na LUZ;
- Variáveis de transporte e mobilidade:
 - i. Número de veículos ligeiros registados por cada 1000 habitantes;
 - ii. Número de mortos ocorridos em acidentes rodoviários por 1000 habitantes;
- Variável de formação e educação:
 - i. Percentagem de habitantes que concluíram o ensino secundário;
- Variáveis de concorrência de sistemas:
 - i. Existência de um sistema de metro adjacente;
 - ii. Existência de um sistema de *tram* interligado;

Estas foram as variáveis adotadas para a caracterização da área urbana onde o metro se insere, tendo a opção por estas ser sobretudo marcada por serem de fácil acesso e suficientemente agregadores para o efeito deste estudo. Todavia, nem todos os sistemas de metro integram uma área metropolitana assente segundo a definição de LUZ, isto é, o sistema de metro de Essen pertence à região metropolitana do Vale do Ruhr, ou seja, não serve uma LUZ. Neste caso os dados extraídos do Eurostat para formação das variáveis urbanas referem-se apenas aos limites geográficos da cidade, pois verifica-se que o sistema de metro que serve esta cidade não ultrapassa as fronteiras da mesma.

As variáveis de consideradas no grupo de concorrência de sistemas são, tal como o indicador de existência de barreira, variáveis binárias.

O indicador dependência demográfica, presente nas variáveis demográficas, representa a relação, expressa em percentagem, entre a população com menos de 15 e mais de 65 anos e a população ativa.

Relativamente ao indicador económico, PIB *per capita*, este não deve ser comparado a preços correntes para cada ano entre cidades (denominado de PIB nominal), mas confrontado a preços constantes (PIB real). O uso do PIB real exprime a variação percentual nas quantidades transacionadas, entre dois anos, a preços constantes segundo um ano base, tendo-se admitido para o efeito o ano 2000. A relação entre os dois produtos internos brutos designa-se por deflator do PIB. O Eurostat fornece o deflator para cada país.

$$PIB_{real} = \frac{PIB_{nominal}}{deflator(\%)} \quad (3.1)$$

No processo do cálculo do PIB, no caso de inexistência de dados estimam-se aplicando as tendências de crescimento do respetivo país. Para além disso, refere-se que o PIB *per capita* aplicado às cidades de Essen e Düsseldorf é o mesmo, por não haver diferenciação no Eurostat entre as duas áreas metropolitanas.

3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS

Tal como visto no capítulo anterior, o sistema de metro é um meio de transporte inserido em ambiente urbano. Assim sendo, para se obter uma ordem de grandeza das variáveis abordadas neste estudo efetua-se uma avaliação estatística das mesmas.

Os indicadores estatísticos dividem-se em 2 categorias. A primeira categoria designa os indicadores estatísticos de localização, ou seja, que permitem a quantificação genérica da variável. A segunda categoria compreende os índices estatísticos de dispersão, que transmitem a variação que o indicador sofre em relação ao seu valor de localização.

Assim sendo, inserem-se na categoria de índices de localização as seguintes relações:

- Média aritmética – reflete o valor médio de uma amostra de dados x_n com N observações dado pela fórmula:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \quad (3.2.)$$

- Máximo – constitui o maior valor no conjunto dos dados representados na amostra, e designa-se por *max*.
- Mínimo – constitui o menor valor no conjunto dos dados representados na amostra, e designa-se por *min*.

Por outro lado, os indicadores estatísticos de dispersão considerados são os seguintes:

- Desvio padrão – dado como a raiz quadrada da variância com o intuito de simplificar a interpretação de resultados. Por sua vez, a variância designa a variação da amostra em relação à média aritmética. Assim sendo, o desvio-padrão é dado pela fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{X})^2} \quad (3.3.)$$

- Coeficiente de variação – expressa em percentagem a dispersão dos valores amostrais em relação à média:

$$CV = \left(\frac{S}{\bar{X}} \right) \times 100 \quad (3.4.)$$

- Amplitude da amostra – corresponde à diferença entre o valor máximo e mínimo da amostra:

$$A = \max - \min \quad (3.5.)$$

Assim sendo, as variáveis internas inerentes aos sistemas de metro da amostra apresentam a distribuição estatística, para cada ano de referência, exposta na Tabela 3.1. Ressalva-se que se tomou como ano de referência o último ano mais atual sobre o qual foi possível a reunião de informação. Nas Fig. 3.2 a Fig. 3.6 apresenta-se, de forma gráfica, os valores das variáveis para cada sistema de metro.

Tabela 3.1 – Valores estatísticos dos principais indicadores internos

Variável	Média Aritmética	Desvio-padrão	Coefficiente de variação
Extensão rede (km)	102,07	99,67	97,6%
N.º Estações	103,25	89,01	86,2%
Nº intersecções / 10 km rede	0,98	0,61	61,6%
Nº carruagens	887,55	1092,58	123,1%
Nº trabalhadores	3671,85	4386,40	119,5%

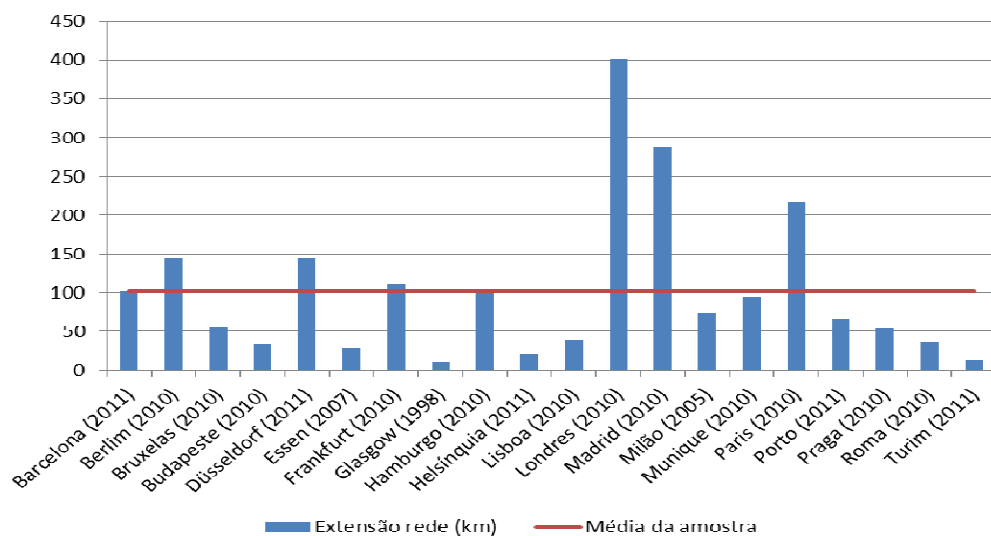


Fig. 3.2 – Extensão da rede de cada sistema de metro, em km, para o ano de referência

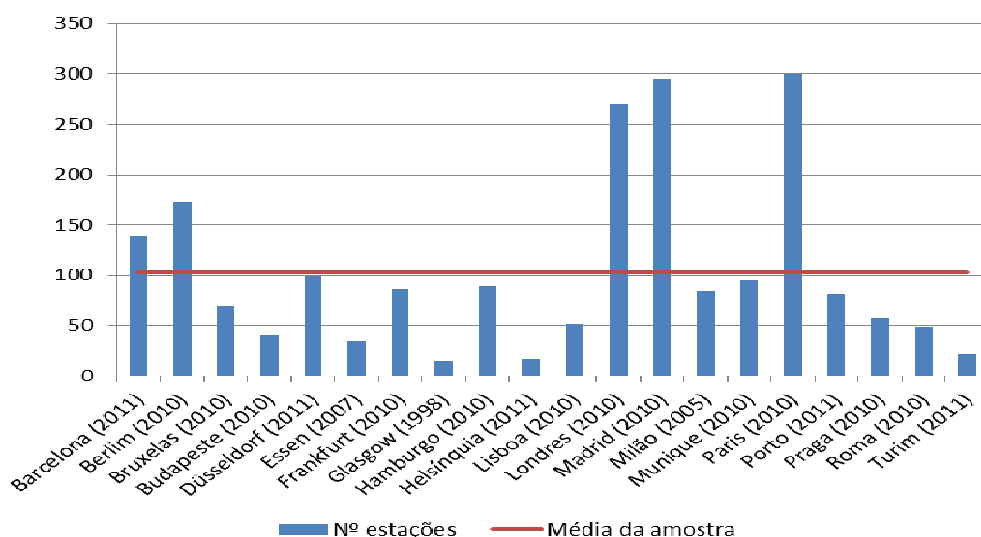


Fig. 3.3 – Nº de estações existentes para cada sistema de metro, para o ano de referência

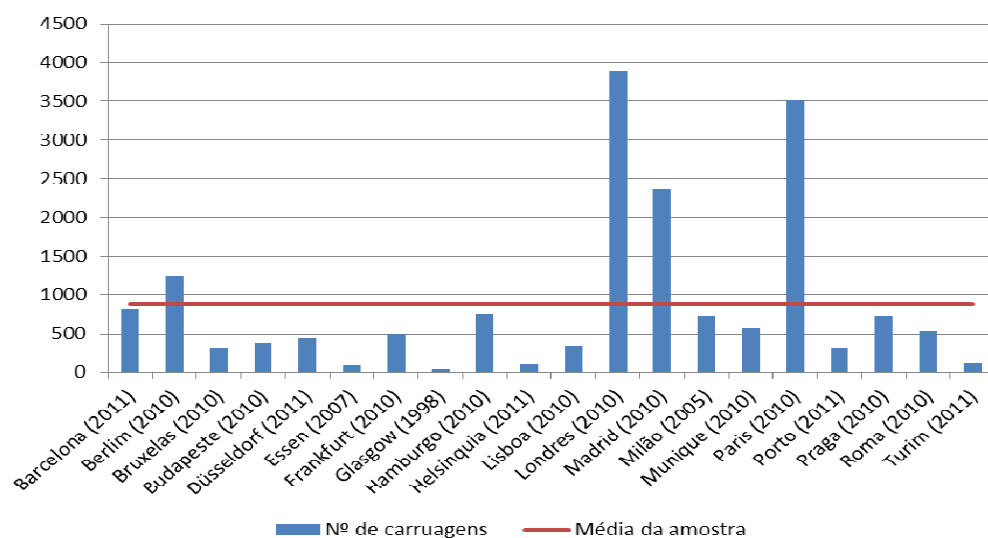


Fig. 3.4 – Nº de carruagens em serviço para cada sistema de metro, para o ano de referência

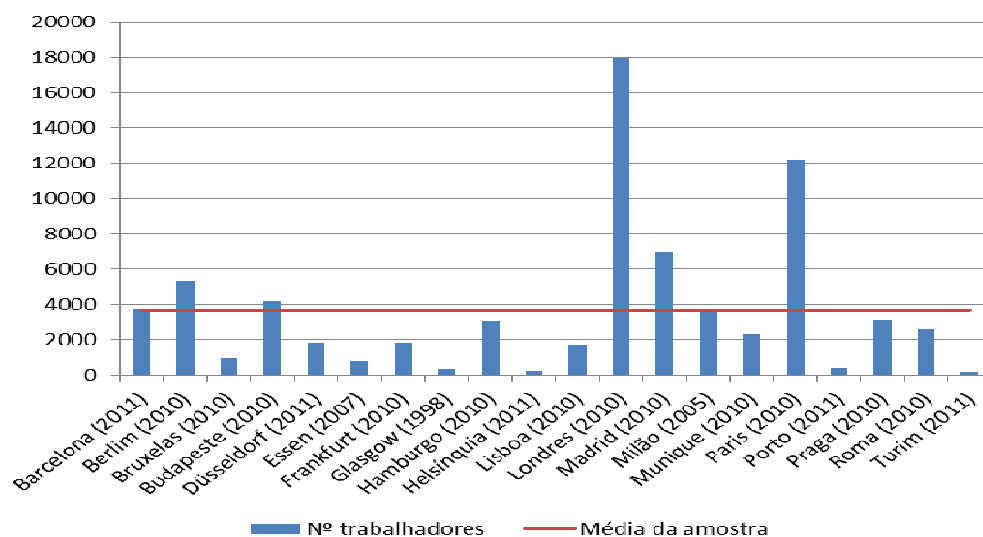


Fig. 3.5 – Nº de trabalhadores afetos a cada sistema de metro, para o ano de referência

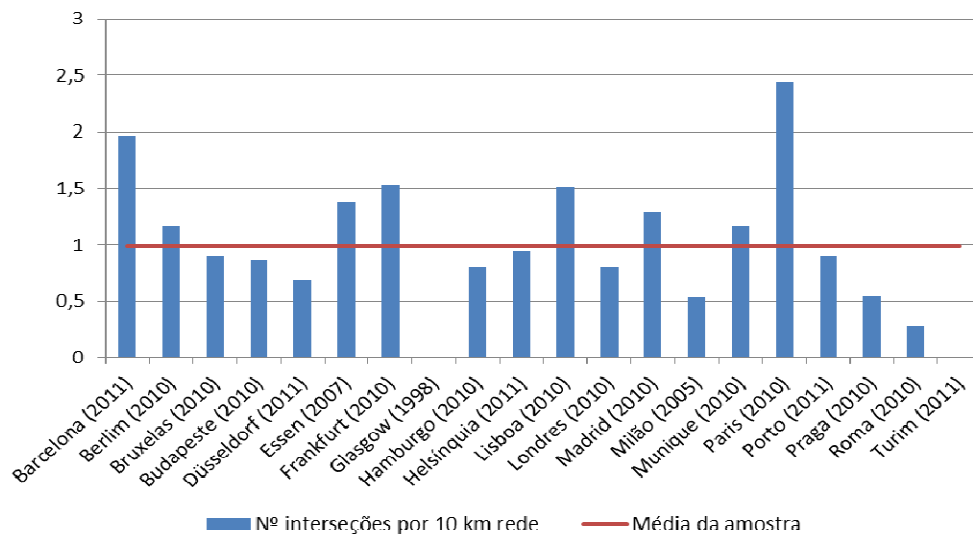


Fig. 3.6 - Nº de interseções por 10 km de rede para cada sistema de metro, para o ano de referência

Verifica-se que em todos os gráficos há uma hegemonia dos sistemas de Londres, Madrid e Paris em relação à extensão de rede, número de estações, número de carruagens e número de trabalhadores. Para além disso, constata-se a possível existência de uma relação entre estes quatro indicadores, subjacentes na produção do sistema, com base na oscilação percentual dos valores entre sistemas para as diferentes variáveis.

Contudo, o número de interseções existentes por cada 10 km de rede parece não ter qualquer relação com os demais, apresentando uma variabilidade de valores aleatória, pelo que se pode inferir que este fator não é preponderante na produção do serviço mas apenas dependente dos interesses socioeconómicos na definição do traçado no espaço urbano.

Relativamente às variáveis urbanas, constata-se que as variáveis área e população evidenciam uma distribuição estatística heterogénea, por serem fatores intrínsecos à área metropolitana onde o sistema se insere. Os restantes indicadores apresentam coeficientes de variação baixos. Este fenómeno é explicado por toda a amostra ser composta por cidades contidas num espaço económico comum, apresentando índices de desenvolvimento semelhantes.

Os valores estatísticos das variáveis urbanas consideradas são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Estatística das variáveis urbanas consideradas na amostra

Variável	Média Aritmética	Máximo	Mínimo	Desvio-padrão	Coeficiente de variação	Amplitude da amostra
Área (km2)	7.177	17.405	145	4.541	63,3%	17.259
População	3.540.098	12.568.166	374.737	3.181.518	89,9%	12.193.429
Dependência demográfica	58,6%	67,8%	50,0%	4,4%	7,4%	17,8%
Dim. média agregado familiar	2,31	3,24	1,80	0,32	14,0%	1,44
PIB <i>per capita</i> (€)	26.586 €	44.923 €	9.318 €	8.629 €	32,5%	35.605 €
Taxa desemprego	9,0%	24,3%	2,5%	3,8%	41,9%	21,8%
Taxa de motorização	460	769	269	98	21,3%	499
Nº mortos em acidentes rodoviários	0,46	1,16	0,03	0,26	56,2%	1,13
% Graduados ensino secundário	34,5%	75,6%	11,3%	15,9%	46,2%	64,3%

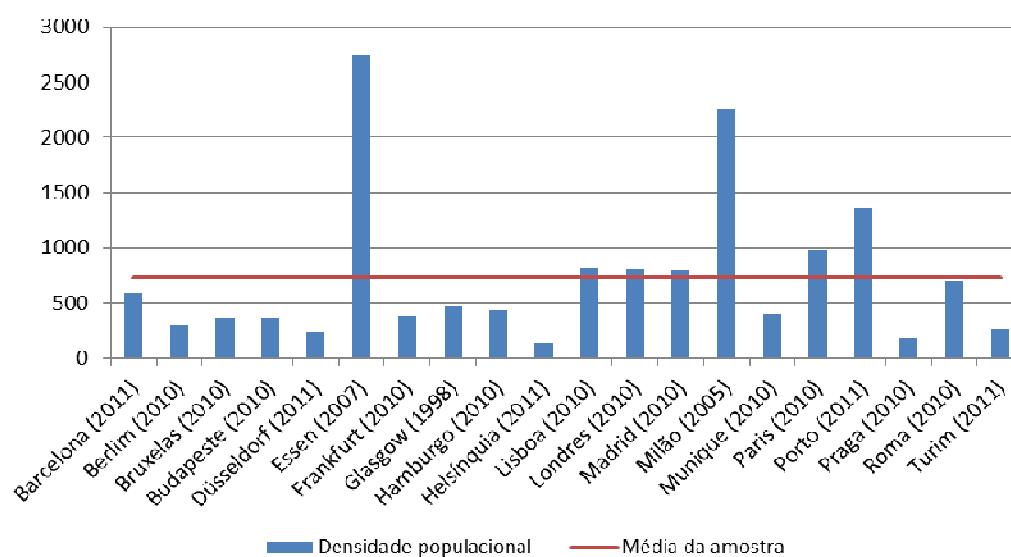


Fig. 3.7 – Densidade populacional para cada área urbana, para o ano de referência

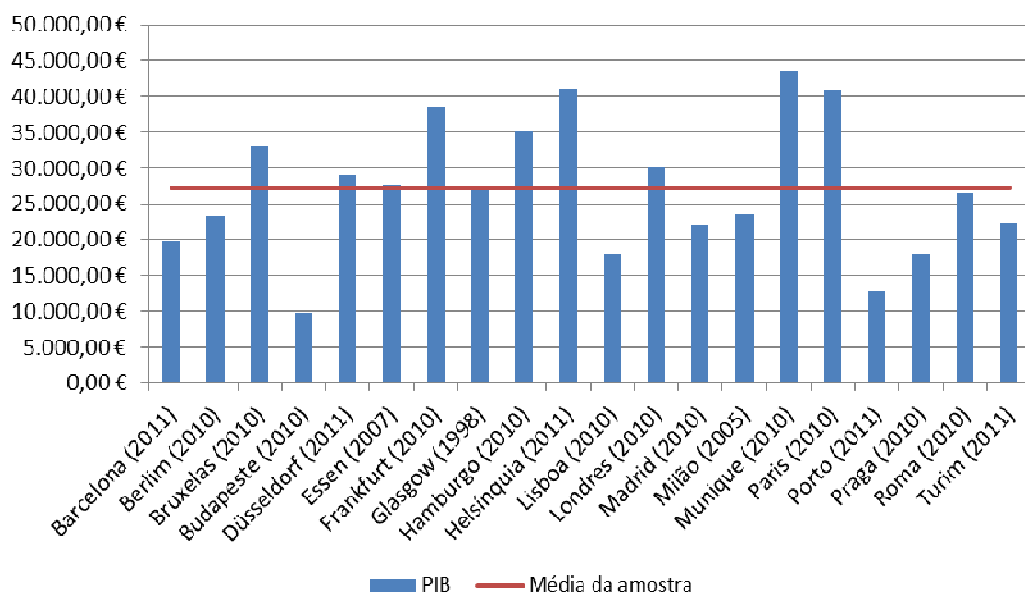


Fig. 3.8 – Produto interno bruto *per capita* para cada área urbana, para o ano de referência

3.4. CARATERIZAÇÃO TÉCNICA DOS SISTEMAS DE METRO

O sistema de metro é um meio de transporte público concebido no intuito de oferecer uma elevada capacidade de transporte e frequência. Assim sendo, neste subcapítulo pretende-se constatar se existe uma disparidade entre as medidas de produção adotadas nos diferentes sistemas, assim como possíveis convergências na procura e na oferta. Tal como no capítulo anterior, salvaguarda-se que como não é possível fixar um ano comum para todos os sistemas, se tomou como ano de referência o último ano com informação disponível.

Primeiramente, pretende-se verificar se a variação das distâncias médias entre estações para os sistemas de metro é significativa ou, aproximadamente, constante. Com efeito, tal distância é definida como o rácio entre a extensão da rede e o número de estações existentes no sistema. A Fig. 3.9 mostra que a média da distância média entre estações para os sistemas de metro presentes na amostra é de 0,95 km, ou seja, aproximadamente um quilómetro. Este valor converge com o que foi referido no capítulo 2, que o metro é caracterizado por uma distância média entre estações de 0,5 a 1,5 km.

Tabela 3.3 – Valores estatísticos das distâncias médias entre estações

Rácio	Média Aritmética	Desvio-padrão	Coeficiente de variação
Distância média entre estações (km)	0,94	0,25	26,6%

Segundo o coeficiente de variação pode-se inferir que a distância média entre estações é, relativamente, constante entre sistemas de metro.

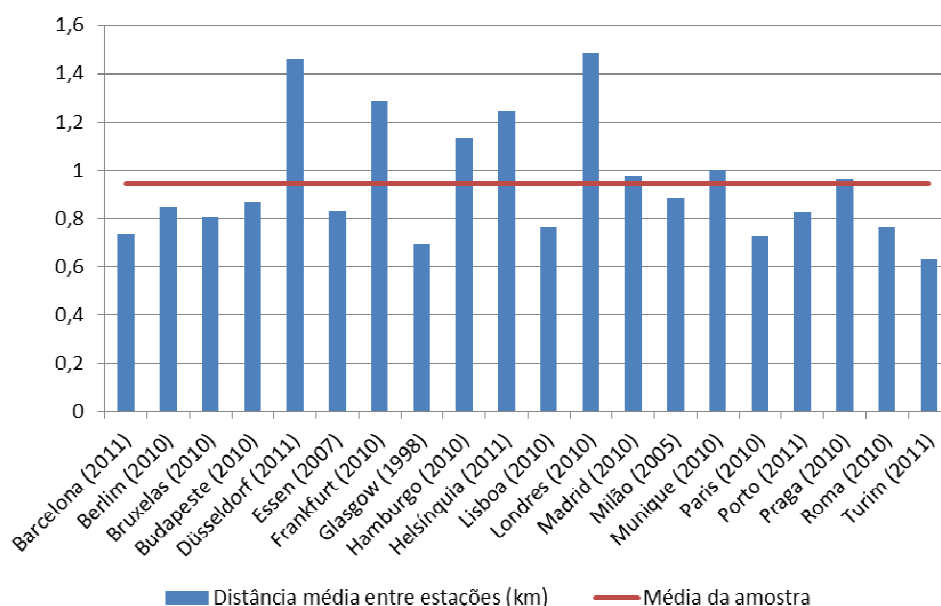


Fig. 3.9 – Distância média entre estações para cada sistema de metro no ano de referência

Outra relação entre as principais variáveis internas é a existência de uma possível dependência do número de trabalhadores com um dos seguintes indicadores: extensão da rede e a frota, respetivamente expostas nas Fig. 3.10 e Fig. 3.11.

O rácio entre os recursos humanos e a extensão de rede apresenta um comportamento instável, com o sistema de Budapeste assumir um valor muito elevado do número de trabalhadores por km de rede comparativamente aos restantes sistemas sem uma explicação evidente. Pode-se, portanto, inferir a provável influência entre o número de trabalhadores e o desenvolvimento tecnológico que o sistema apresenta, sendo que metros mais antigos evidenciam a necessidade de um maior número de pessoal.

Contudo, a relação entre os recursos humanos e o número de carruagens é mais preponderante, verificando-se um desvio em relação à média de, aproximadamente, 50%. Esta dependência pode ser justificada pelo facto do número de trabalhadores envolver uma elevada percentagem de condutores que são diretamente proporcionais à frota disponível. Mas, mais uma vez, não se pode descartar a influência que o desenvolvimento tecnológico pode ter sobre esta relação, existindo uma explicação lógica para sistemas mais antigos, que demonstrem uma maior propensão de avarias e uma maior dificuldade de manuseamento dos veículos abarcarem um maior número de trabalhadores.

Tabela 3.4 - Valores estatísticos da dependência do número de trabalhadores afetos aos sistemas presentes na amostra com outras variáveis

Rácio	Média Aritmética	Desvio-padrão	Coeficiente de variação
Número de trabalhadores por km de rede	36,65	26,59	72,5%
Número de trabalhadores por carruagem	4,59	2,39	52,06%

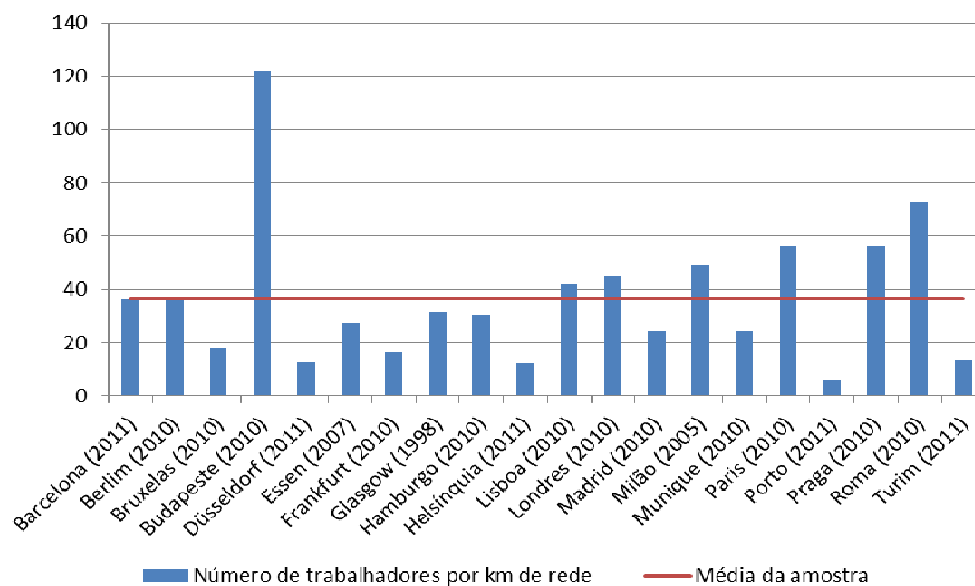


Fig. 3.10 – Número de trabalhadores por km de rede no ano de referência

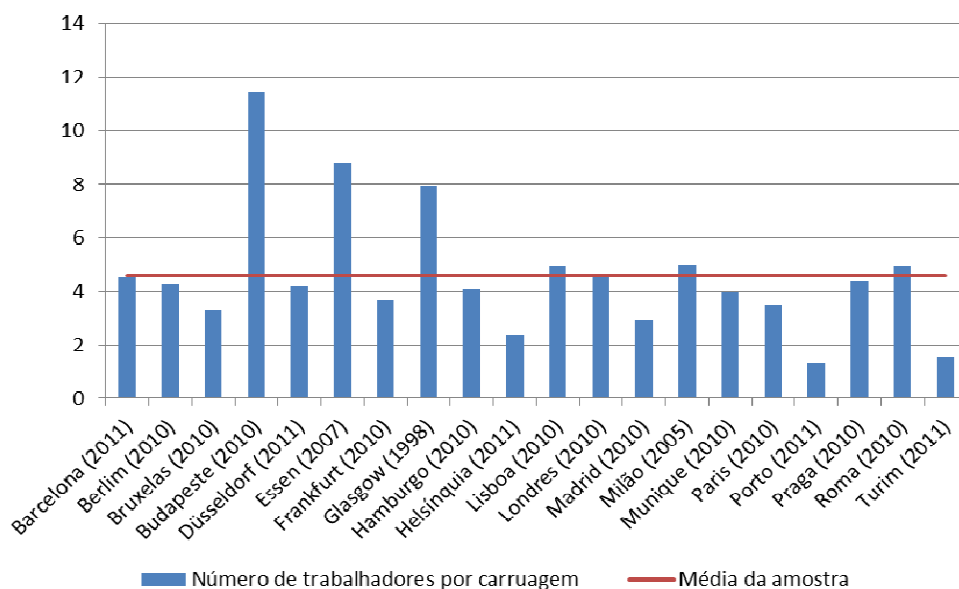


Fig. 3.11 – Número de trabalhadores por carruagem no ano de referência

Efetivamente, se o número de veículos pode influenciar o número de empregados afetos ao sistema, também a frota disponível pode estar relacionada com a periodicidade do serviço. Assim sendo, rácios do número de comboios por km de rede e da quantidade de carruagens.km produzida pela extensão de rede podem enunciar a frequência do serviço. Desta forma, será possível obter um entendimento se o tempo de espera no serviço é constante entre os vários sistemas de metro.

Tabela 3.5 – Estatísticas dos rácios indicadores da periodicidade de serviço nos sistemas de metro

Rácio	Média Aritmética	Desvio-padrão	Coefficiente de variação
Número de veículos por km de rede	2,19	0,90	40,9%
Número de carruagens.km por km de rede	677,17	376,45	55,59%

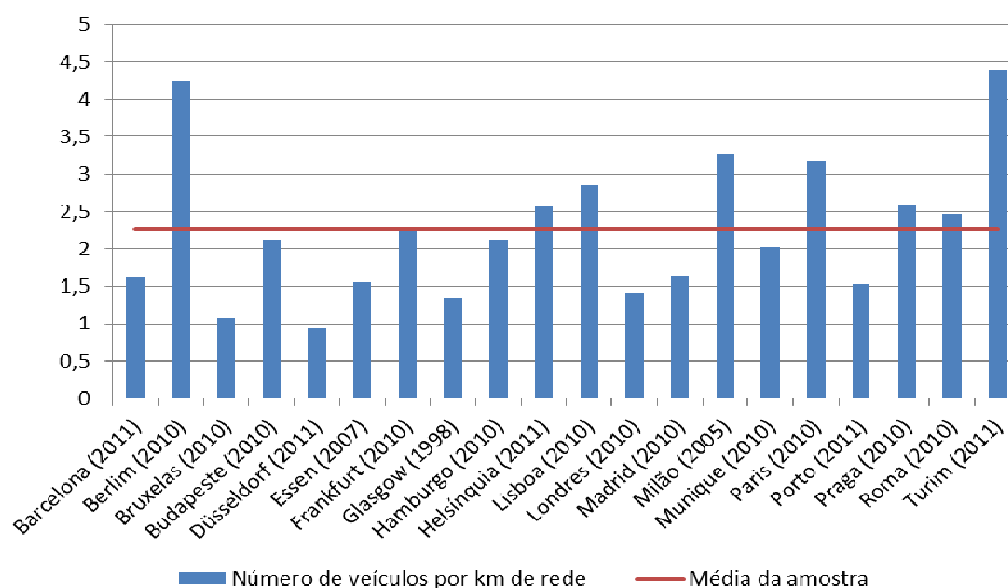


Fig. 3.12 – Número de veículos por km de rede no ano de referência

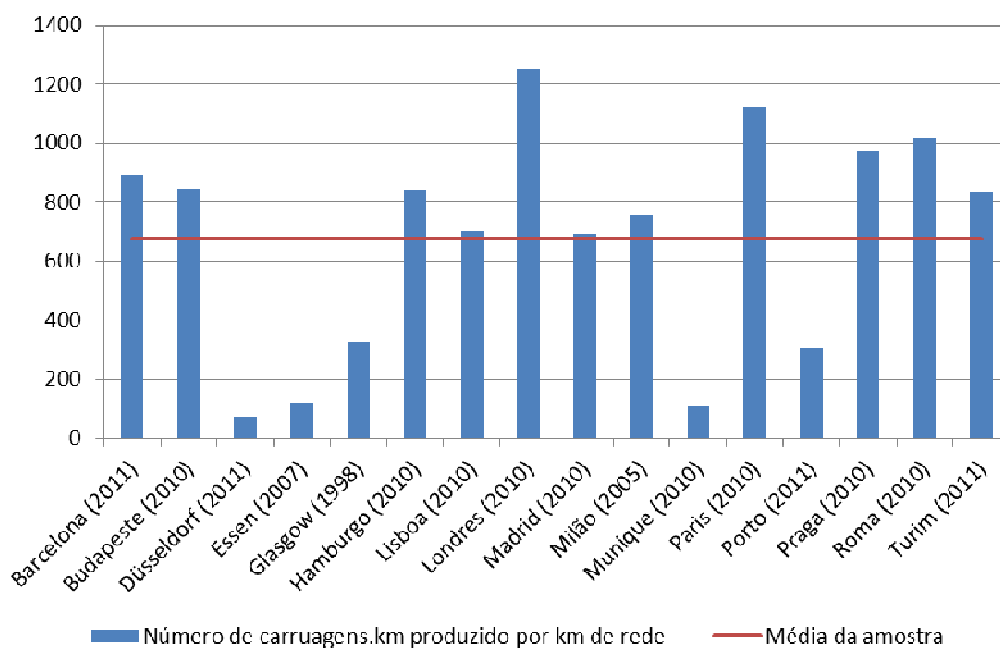


Fig. 3.13 – Número de carruagens.km produzido por km de rede no ano de referência

Verifica-se que na relação da Fig. 3.12, apesar das diferenças serem significativas entre os sistemas, cria-se a ilusão que redes com uma extensão menor proporcionam um maior número de viaturas a circular simultaneamente na rede, o que se traduz numa maior frequência de serviço. Contudo, tal fato é um equívoco se nem todo o material circulante se encontrar a prestar serviço.

Por sua vez, o processo de uniformização do número real de carruagens.km produzido com a extensão da rede exprime uma maior oferta de mobilidade mas não revela se é executada com intervalos temporais equidistantes ou de uma forma concentrada, pelo que nada se pode extrapolar dessa relação sobre a frequência.

Por outro lado, a análise entre a oferta e a procura exprime o número médio de passageiros que viaja por carruagem. Este valor é estimado confrontando o número de passageiros.km transportado com o

número de carruagens.km oferecido. Verifica-se que apenas 10 sistemas dispunham de dados suficientes para realizar esta análise, pelo que todas as conclusões apresentadas devem ser submetidas a uma reavaliação com um maior número de sistemas na amostra.

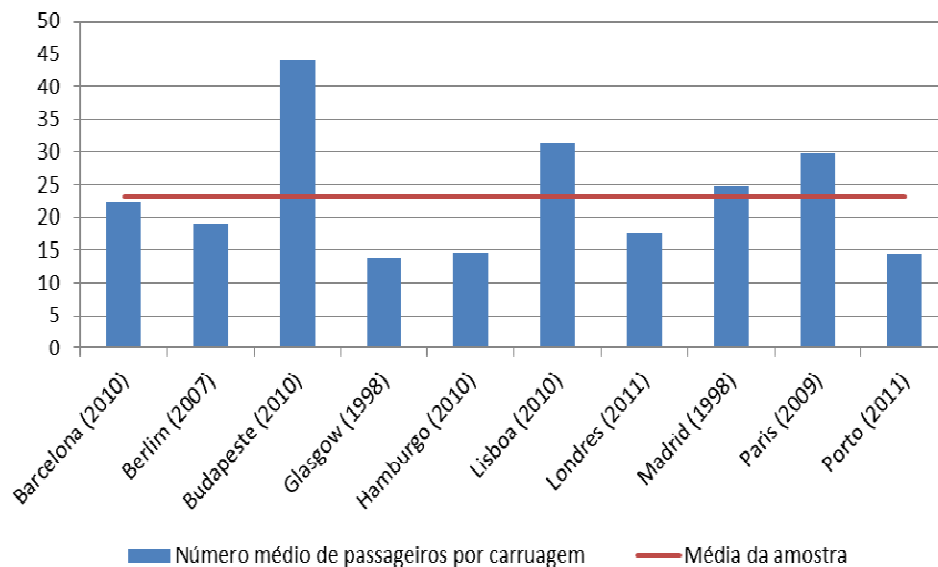


Fig. 3.14 – Número médio de passageiros por carruagem por sistema no respetivo ano de referência

Tabela 3.6 – Valores estatísticos do número médio de passageiros por carruagem

Rácio	Média Aritmética	Desvio-padrão	Coeficiente de variação
Número médio de passageiros por carruagem	23,15	9,63	41,6%

Como se pode verificar, exceptuando o sistema de Budapeste que tem uma média na ordem dos 45 passageiros por carruagem, todos os outros sistemas apresentam valores próximos e compreendidos entre os 15 e 30 passageiros por carruagem. Um valor baixo de pessoas transportadas quando comparados com a capacidade máxima de uma carruagem, mas que elucida como o elevado número de passageiros em horas de ponta contrasta com a baixa procura no restante horário.

Do mesmo modo, pode ser determinado o número médio de km percorrido pela oferta e pela procura. A razão entre o número de passageiros e o número de passageiros.km transportado identifica o número médio de km que cada passageiro efetua na rede.

Este rácio permite avaliar o comportamento dos utilizadores. Ou seja, sabendo a velocidade com que o veículo efetua o percurso e o número de km que cada passageiro em média percorre, é possível determinar o tempo consumido pelo utente dentro do metropolitano.

Os dados necessários para o cálculo da relação estão descritos na Tabela 3.7 e os resultados apresentados na Fig. 3.15.

Tabela 3.7 – Dados necessários ao cálculo do nº médio de km percorridos por passageiro

Sistema	Ano	Extensão rede (km)	Nº Passageiros.km	Nº Passageiros	Nº médio de km percorridos / passageiro	Nº médio de km percorridos por passageiro / Extensão rede
Barcelona	2010	102	1.943.500	381.200	5,10	0,05
Berlim	2010	146	2.335.800	495.900	4,71	0,03
Budapeste	2010	35	1.283.763	273.263	4,70	0,14
Frankfurt	2010	111	463.000	115.700	4,00	0,04
Glasgow	1998	10	46.800	14.600	3,21	0,31
Hamburgo	2010	101	1.227.694	205.908	5,96	0,06
Helsínquia	2011	21	396.500	61.500	6,45	0,31
Lisboa	2010	40	866.200	128.800	6,73	0,17
Londres	2011	402	8.875.000	1.107.000	8,02	0,02
Madrid	1998	136	2.425.000	437.000	5,55	0,04
Paris	2009	217	7.353.000	1.479.000	4,97	0,02
Porto	2011	67	290.700	55.737	5,22	0,08

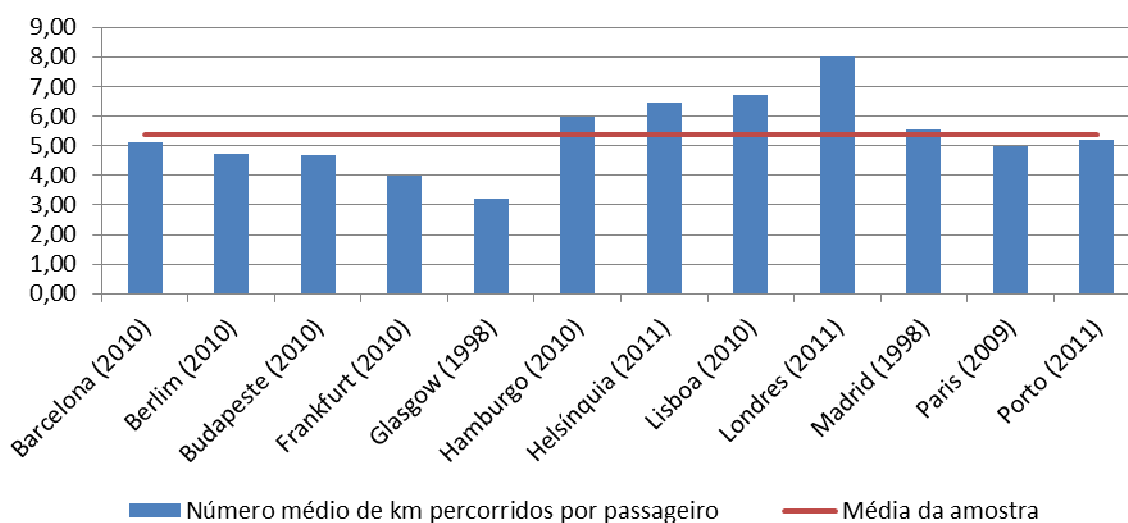


Fig. 3.15 – Número médio de km percorridos por passageiro no ano de referência

Verifica-se que apesar de se analisar 12 sistemas de metro completamente distintos entre si, o rácio que determina o número médio de km percorridos por um passageiro é muito semelhante. De fato, a média aritmética deste novo indicador é 5,41. Isto representa que cada utente percorre em média 5,41 km da rede de metro. Uma análise estatística de dispersão corrobora que é um valor muito constante, com um coeficiente de variação de 24,80% como consta na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Valores estatísticos do número médio de km percorridos por passageiro

Variável	Média Aritmética	Desvio-padrão	Coeficiente de variação
Número médio de km percorridos por passageiro	5,38	1,28	23,8%

Os valores obtidos confirmam o sistema de metro como um meio de transporte urbano por excelência na realização de movimentos de curtas distâncias, tal como descrito no capítulo 2.

Por outro lado, quando se procede a uma uniformização do rácio com a divisão pela extensão da rede, surge uma maior dispersão entre valores. Pois sistemas com uma extensão de rede baixa vão conduzir a uma maior percentagem de quilómetros de rede percorridos, em média, por passageiro.

Uma análise idêntica permite calcular o número médio de quilómetros oferecidos por cada carruagem, sobrepondo o número de carruagens.km ao número de carruagens que compõe a frota. Na Fig. 3.16 apresentam-se os valores obtidos.

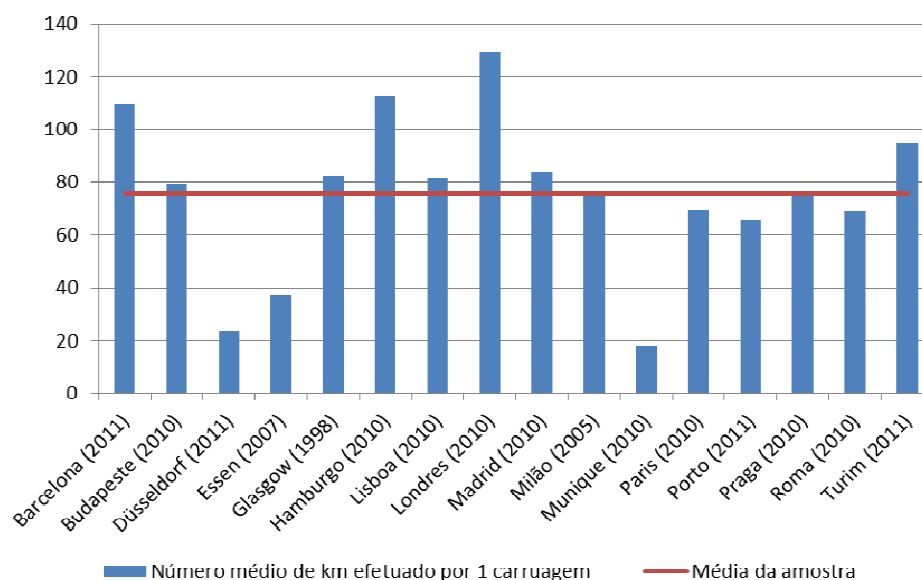


Fig. 3.16 – Número médio de km efetuado por uma carruagem

Tabela 3.9 – Valores estatísticos do número médio de km efetuados por uma carruagem

Variável	Média Aritmética	Desvio-padrão	Coeficiente de variação
Número médio de km efetuados por 1 carruagem	75,56	30,09	39,8%

Constata-se que o coeficiente de variação da amostra no que corresponde a este rácio é variável pelo que não é possível retirar qualquer ilação que evidencie um modelo comum aos sistemas abordados.

Por fim no que diz respeito a relações dispondo apenas de variáveis internas ao sistema, pretende-se averiguar a possível existência de uma relação entre o número de interseções por cada 10 km de rede e a procura. Contudo, como é perceptível pela Fig. 3.17 não existe qualquer proporcionalidade entre as taxas de crescimento do número de passageiros que recorrem ao sistema e o número de interseções entre linhas. Assim sendo, pode-se concluir, tal como referido no subcapítulo anterior, que o número

de interseções é fator derivante apenas do posicionamento espacial das principais atividades socioeconómicas na área urbana, que intervém na definição do traçado da rede.

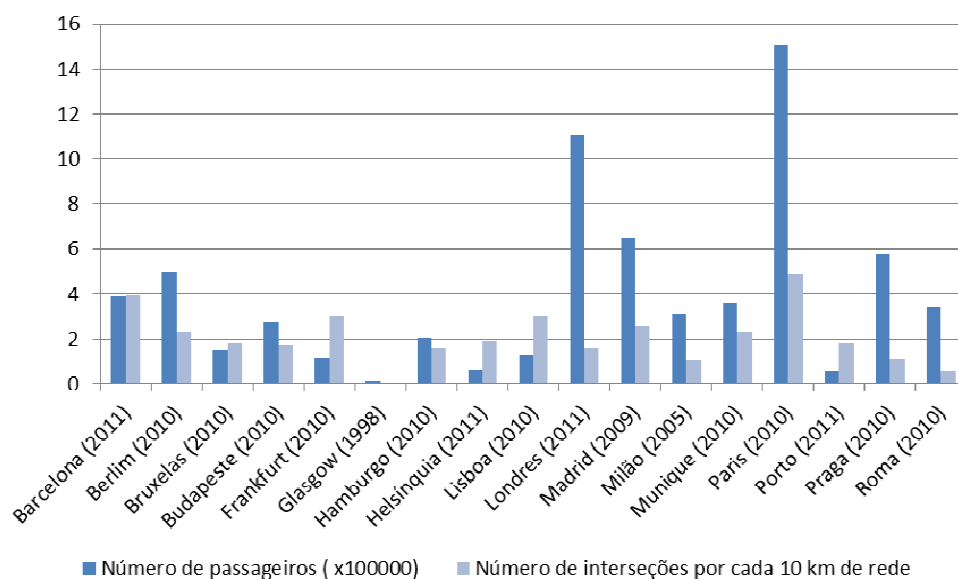


Fig. 3.17 – Relação entre procura e número de interseções por cada 10 km de rede

No que respeita a relações entre indicadores urbanos e do sistema são analisados dois possíveis rácios. A primeira relação verifica a dependência demográfica com o número de passageiros que o sistema de metro atrai. Este relacionamento envolve o uso de duas variáveis urbanas e de um *output*. A relação entre o número de passageiros transportados e a população residente na área metropolitana expressa a percentagem de habitantes que se servem do sistema.

A Tabela 3.10 dispõe os dados que intervêm nesta relação.

Tabela 3.10 – Informação para o cálculo da relação entre dependência demográfica e a procura

Sistema	Ano	Nº passageiros	População	Nº passageiros / População	Dependência demográfica
Barcelona	2011	388.980	4.525.911	8,59%	57,01%
Berlim	2010	495.900	5.055.116	9,81%	56,77%
Bruxelas	2010	150.800	1.915.903	7,87%	66,49%
Budapeste	2010	273.263	2.511.400	10,88%	56,37%
Frankfurt	2010	115.700	2.553.119	4,53%	62,65%
Hamburgo	2010	205.908	3.209.759	6,42%	63,15%
Helsínquia	2011	61.500	1.297.745	4,74%	56,56%
Lisboa	2010	128.800	2.475.252	5,20%	62,38%
Londres	2011	1.107.000	12.568.166	8,81%	60,56%
Madrid	2009	649.980	6.347.107	10,24%	51,45%
Milão	2005	315.192	3.047.144	10,34%	58,30%
Munique	2010	360.000	2.686.780	13,40%	58,90%
Paris	2010	1.506.000	11.799.584	12,76%	62,80%
Porto	2011	55.737	1.112.918	5,01%	58,40%
Praga	2010	578.515	2.137.159	27,07%	52,27%
Roma	2010	345.000	3.739.837	9,23%	63,21%
Turim	2006	9.000	1.738.544	0,52%	60,85%

Quando transportados para a Fig. 3.18, os dados revelam apontar para uma ligeira tendência de existir uma ligação entre cidades com dependência demográfica inferior a 60% atrair um maior número de pessoas.

Este fenómeno pode ser explicado com a existência de uma maior propensão de adesão do sistema de metro por pessoas que efetuam movimentos pendulares, sendo que as crianças e os idosos preferem o uso de outros modos de transporte.

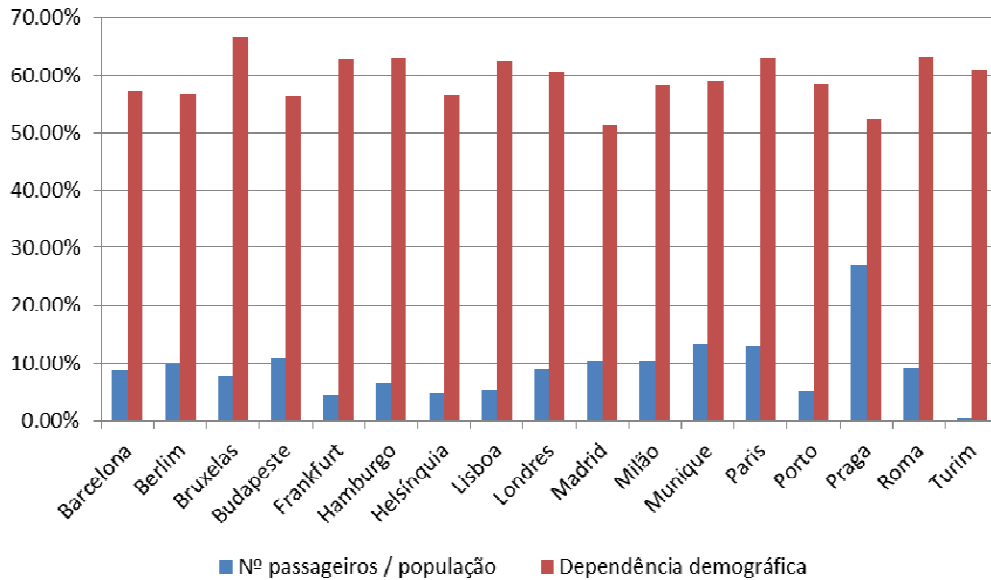


Fig. 3.18 – Relação entre o número de passageiros transportados e a dependência demográfica

A segunda dependência assenta na tentativa de um relacionamento entre a taxa de motorização, dado pelo número de carros registados na área urbana, com o número de passageiros que recorrem ao sistema como meio de transporte. Ao contrário do efetuado anteriormente, esta análise consta com a evolução temporal de cada sistema e não apenas com o ano de referência.

Para as diferentes áreas metropolitanas serem comparáveis dividiu-se o número de automóveis registados pela população residente, e efetuou-se o mesmo ao número de passageiros, dividindo-o, igualmente, pela população. Posteriormente, procedeu-se à relação entre estes dois rácios dos quais se obteve o resultado que consta na Fig. 3.19.

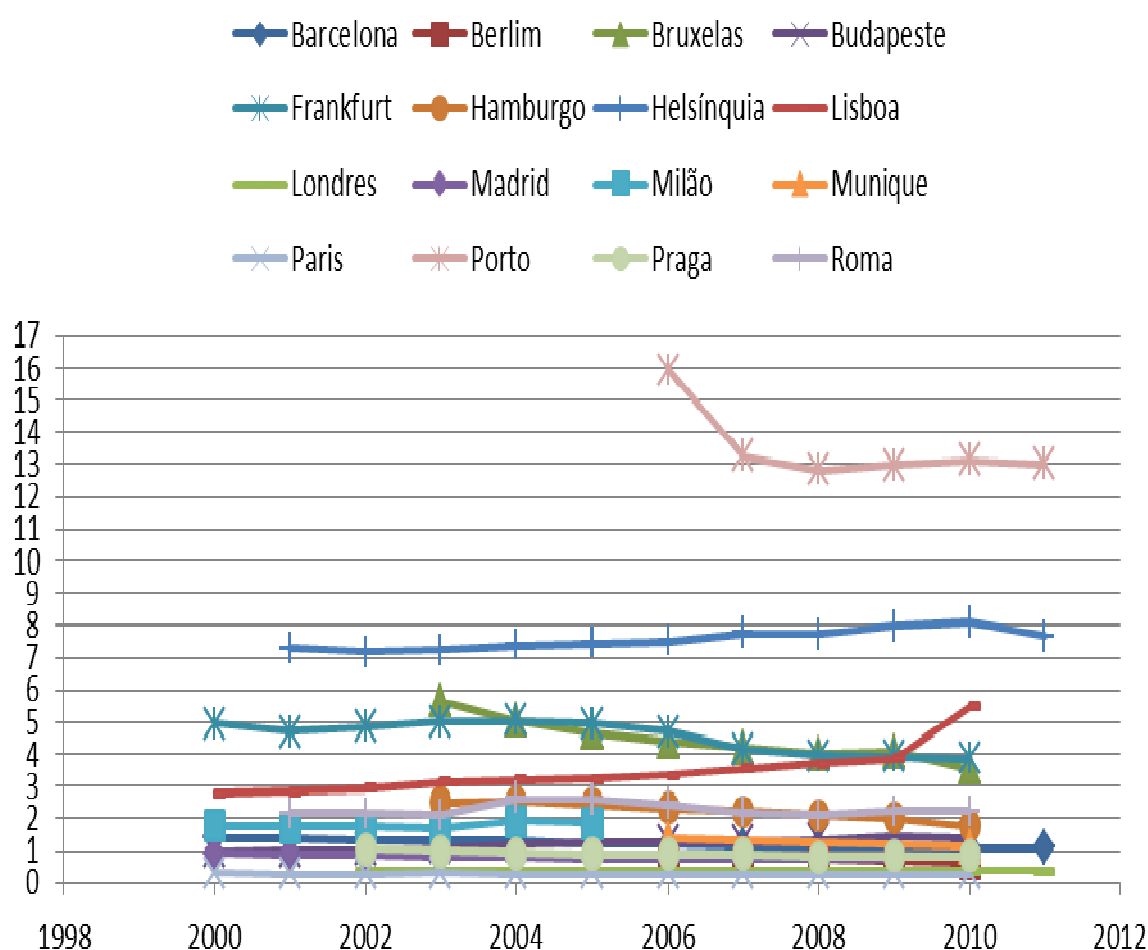


Fig. 3.19 – Relação entre taxa de motorização com número de passageiros transportados

Verifica-se uma predominância de sistemas abaixo de um rácio de 2 entre o número de carros registados e o número de passageiros. Teoricamente, todos os rácios inferiores a 1 ditam uma proporção de um maior número de passageiros por cada carro existente, enquanto rácios superiores a 1 evidenciam uma tendência de um maior número de viaturas por cada passageiro transportado. Deste modo, constata-se que os metros mais antigos e mais completos, talvez por se encontrarem mais enraizados no quotidiano citadino como os sistemas de Londres, Paris, Praga, Budapeste, Madrid, Barcelona e Berlim, apresentam valores inferiores ou iguais a 1. Por outro lado, os sistemas mais recentes e limitados na extensão de rede apresentam valores elevados, com rácios na ordem dos 10 valores. Estas conclusões são indicativas de que com o avançar do tempo se verifica, progressivamente, uma maior adesão do público aos sistemas de metro que apresentem uma elevada variedade de destinos, em deterioramento do uso do automóvel. No entanto, de forma a assegurar uma maior fiabilidade nas ilações ditas anteriormente, as mesmas deveriam se reportar a uma amostra com um maior número de sistemas de metro.

4

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA E EFICÁCIA DOS SISTEMAS DE METRO

4.1. INTRODUÇÃO AO MÉTODO

Um sistema de metro ao disponibilizar um meio de transporte à sociedade está a produzir um determinado serviço. Assim, o sistema recorre a recursos ou fatores de produção, genericamente designados de *inputs*, para obter um *output*.

Contudo, a transformação dos fatores produtivos envolvidos pode não maximizar a produção. As possíveis combinações entre as quantidades de *inputs* utilizados que geram a máxima quantidade de *output* desenvolvem uma fronteira de produção (FP). A Fig. 4.1 mostra uma fronteira genérica para a produção de um *output* com recurso a um *input*.

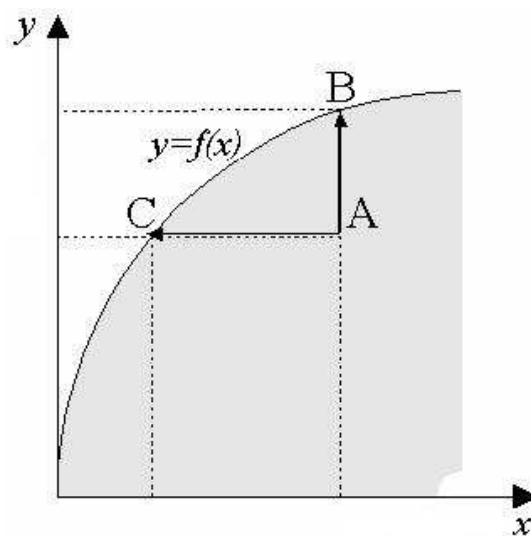


Fig. 4.1 – Fronteira de produção (Lobo, A.M.C.V., 2008)

Portanto, um sistema é tecnicamente eficiente caso a quantidade de *output* gerada seja coincidente com a fronteira de produção. Deste modo, a eficiência técnica (ET) traduz a capacidade de um sistema fabricar *output* segundo um objetivo produtivo, ou minimizando os *inputs* (ponto C na Fig. 4.1) ou maximizando o *output* (ponto B na Fig. 4.1), e é definida como a distância entre a produção real e a produção na fronteira. A expressão da eficiência técnica é assim calculada segundo a equação (4.1),

em que P é o *output* produzido e FP é o *output* na fronteira de produção, e assume valores entre 0 e 1, sendo que 1 representa um sistema tecnicamente eficiente.

$$ET = \frac{P}{FP} \quad (4.1)$$

Salienta-se que este trabalho não aborda questões de ordem económica, pelo que não se aborda a eficiência alocativa, que prevê a minimização de custos de produção na avaliação do desempenho de cada sistema de metro.

4.1.1. FUNÇÃO PRODUÇÃO DE COBB-DOUGLAS

O modelo matemático que exprime uma fronteira de produção consiste numa expressão algébrica que devolva máximo de *output* que é possível produzir em função dos *inputs*. A equação (4.2) representa uma função genérica em que y é o *output* gerado e x_n os n *inputs* que intervêm na produção.

$$y = f(x_1, \dots, x_n) \quad (4.2)$$

Entre várias funções possíveis, adotou-se neste estudo o uso da função de produção de *Cobb-Douglas* que apresenta a seguinte forma:

$$y = \beta_0 \cdot \prod_{k=1}^n x_k^{\beta_k} \quad (4.3)$$

A forma linear da equação (4.3) é apresentada na equação (4.4).

$$\ln y = \beta_0 + \sum_{k=1}^n \beta_k \cdot \ln x_k \quad (4.4)$$

A função de *Cobb-Douglas* infere uma relação proporcional entre o logaritmo natural dos *inputs* e um coeficiente β_k (para $1 \leq k \leq n$), ou seja, uma elasticidade do *input*. Esta elasticidade determina qual a variação percentual na quantidade de *output* produzida quando se verifica o aumento em 1% no respetivo *input*, mantendo os restantes constantes.

4.1.2. MODELO ESTOCÁSTICO DE FRONTEIRA

Visto que o objetivo deste trabalho é, claramente, a determinação da eficiência técnica dos sistemas de metro e que se recorre a um elevado número de *inputs*, tal cálculo desenvolve-se num campo multidimensional, no qual não é possível a extração direta de resultados. Assim sendo, recorre-se a um método de estimação econométrico, o método estatístico estocástico¹.

Efetivamente, o método de estimação econométrico pode ser determinístico ou estocástico, sendo que a diferença entre eles assenta na forma como encaram os desvios em relação à fronteira eficiente de produção. Enquanto o modelo determinístico defende que os desvios à fronteira são apenas devido à ineficiência técnica dos sistemas, o método estocástico admite o desvio como uma agregação de duas componentes independentemente distribuídas. Deste modo, o desvio organiza-se segundo os seguintes erros:

¹ Recorreu-se ao *software Limdep* como ferramenta auxiliar para o desenvolvimento do método estatístico estocástico.

- Erro determinístico (u_i) – representa a ineficiência técnica do sistema, ou seja, é uma variável sempre positiva, pelo que assume uma distribuição assimétrica.
- Erro estocástico (v_i) – reflete as influências aleatórias às quais os sistemas estão sujeitos e que se encontram fora do seu controlo. A natureza dessas interferências pode ser ramificada em duas vertentes. Primeiramente os choques aleatórios, que abrangem acontecimentos que perturbam a produção do sistema mas que não estão dependentes do alcance do domínio da empresa, e posteriormente, o ruído estatístico quando deriva de erros nos dados recolhidos ou no modelo. Por ser uma variável que pode influenciar positiva ou negativamente a produção de *output* pode assumir valores positivos e negativos, pelo que apresenta uma distribuição simétrica e normal.

O método estatístico estocástico, datado de 1977 e introduzido por Aigner, Lovell e Schmidt e por Meeusen e van den Broeck, apresenta um comportamento mais adequado em análises sobre o desempenho operacional de meios de transportes visto que existe uma dependência social, económica e política entre os sistemas de transporte e as áreas urbanas que servem.

Contudo, o desenvolvimento do modelo estocástico deriva do modelo determinístico, onde o *output* na fronteira de produção é dada pela equação (4.5), que é uma transformação da equação (4.1) em ordem ao *output* produzido pelo sistema e no qual $f(x_i, \beta)$ representa a função de *Cobb-Douglas*.

$$y = ET_i \cdot f(x_i, \beta) \quad (4.5)$$

Contudo, uma vez que u_i é uma medida da ineficiência técnica do sistema, pode-se escrever que $ET_i \approx 1 - u_i$, e procedendo à transformação logarítmica da equação (4.5) obtém-se a equação (4.6), na qual se admite que $u_i = -\ln ET_i$.

$$\ln y_i = \ln f(x_i, \beta) + \ln ET_i \Leftrightarrow \ln y_i = \ln f(x_i, \beta) - u_i \quad (4.6)$$

Assim sendo, a eficiência técnica para cada sistema pode ser obtida pela equação (4.7).

$$ET_i = e^{-u_i} \quad (4.7)$$

Porém, como referido anteriormente, o desvio também é composto por uma componente estocástica, v_i , que se precisa acoplar à equação (4.5) e que substituindo de acordo com a equação (4.7) se obtém a equação (4.8).

$$y_i = ET_i \cdot f(x_i, \beta) \cdot e^{v_i} \Leftrightarrow y_i = f(x_i, \beta) \cdot e^{-u_i} \cdot e^{v_i} \Leftrightarrow y_i = f(x_i, \beta) \cdot e^{v_i - u_i} \quad (4.8)$$

Posteriormente se substitui $f(x_i, \beta)$ pela expressão de *Cobb-Douglas* (equação (4.4)) e que agrega ambos os erros na equação (4.9), sendo que ε é o erro composto cuja expressão é $\varepsilon = v_i - u_i$.

$$\ln y_i = \left[\beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j \cdot \ln x_j \right] + \varepsilon_i \quad (4.9)$$

Assim, ε assume uma distribuição assimétrica, sendo que as leis de distribuição ajustadas para o erro u_i serão mencionadas mais adiante. Relativamente à eficiência técnica, esta é dada, no método estocástico, pela equação (4.10), em que $E(u_i/\varepsilon_i)$ corresponde ao valor médio da distribuição condicionada de $f(u_i/\varepsilon_i)$.

$$ET_i = e^{-E(u_i|\varepsilon_i)} \quad (4.10)$$

No caso em estudo serão reportadas duas eficiências técnicas, sendo que se designará por eficiência quando a eficiência técnica se referir a um *output* que traduz a oferta do sistema de metro, e por eficácia quando se aplicar a um *output* indicador caracterizador da procura do sistema.

4.2. REMOÇÃO DE TRABALHADORES AFETOS A OUTROS SISTEMAS DE TRANSPORTE

Como referido anteriormente, no decorrer da aquisição de informação não foi possível extrair o número de trabalhadores referente ao sistema de metro isoladamente em todas as empresas. Portanto, e de forma a evitar a existência de mistura de dados relativos a diferentes meios de transportes, realizou-se um ajuste linear múltiplo¹.

De entre os sistemas de metro estudados enumeram-se, de seguida, as 11 empresas que apresentam apenas o total do número de trabalhadores, sem diferenciação entre os diferentes sectores de transporte:

- Berlim;
- Bruxelas;
- Budapeste;
- Düsseldorf;
- Essen;
- Frankfurt;
- Hamburgo;
- Londres;
- Milão;
- Munique;
- Praga.

Deste modo, estabeleceu-se a possibilidade de um paralelismo entre a frota disponível e os recursos humanos dos sistemas, segundo o qual se formula a equação (4.11), em que a variável Y corresponde a um vetor contendo o número de trabalhadores de cada observação, θ_k às constantes de regressão, x_1 é o vetor com o número de carruagens em cada observação, x_2 a x_k compreende as variáveis *dummy* das empresas que apresentem o número dos recursos humanos da empresa misturado, e, finalmente, ω é o vetor que contém o erro aleatório. As variáveis *dummy* servem para identificar quais as observações na base de dados que possuem informação partilhada para cada sistema, sendo que constituem vetores com informação binária, 1 caso o número de trabalhadores na observação esteja misturado e 0 no caso inverso.

$$Y = \theta_0 + \sum_{i=1}^k \theta_k \cdot x_k + \omega \quad (4.11)$$

¹ Regressão linear múltipla calculada com auxílio ao *software Limdep*.

Assim sendo, o modelo da regressão linear descreve um hiperplano no espaço k -dimensional contendo a dispersão de pontos sobre os quais determina os parâmetros θ_j , em que $j=1,\dots,k$, que representam a variação esperada em Y para cada unidade de variação em x_j quando os restantes indicadores x_p ($p \neq j$) permanecem constantes.

Os resultados da aplicação do método são descritos na Tabela 4.1, na qual, de modo a facilitar a interpretação de resultados, substituiu-se nas constantes de regressão o número k pelo nome da variável independente à qual está associada.

Tabela 4.1 – Resultado dos coeficientes θ do modelo de regressão linear múltipla

Coeficientes	Valor
θ_0	388,11
$\theta_{\text{Nº carruagens}}$	3,45
θ_{Berlim}	6386,50
θ_{Bruxelas}	4961,61
$\theta_{\text{Budapeste}}$	12110,52
$\theta_{\text{Düsseldorf}}$	1018,51
θ_{Essen}	1177,85
$\theta_{\text{Frankfurt}}$	261,14
θ_{Hamburgo}	1362,07
θ_{Londres}	4556,57
$\theta_{\text{Milão}}$	6714,44
θ_{Munique}	432,58
θ_{Praga}	8463,18

Os valores acima referidos provêm de uma regressão linear múltipla com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,967, o que descreve uma boa correspondência entre as variáveis analisadas.

Efetivamente, são os coeficientes de regressão relativos às variáveis *dummy* que permitem retirar o excesso de trabalhadores afetos a outros meios de transporte dentro da mesma. Tal como referido anteriormente, cada variável *dummy* indica o valor 1 em observações com informação partilhada, e a constante de regressão indica a variação no número de trabalhadores com uma variação unitária na variável independente. Deste modo, para que a variável *dummy* assuma apenas valores nulos, ou seja, esteja a representar observações em que o número de trabalhadores da empresa seja apenas afeto ao sistema de metro, tem que se subtrair o valor da constante θ referente ao sistema ao número de trabalhadores que consta na base de dados.

Contudo, o valor subtraído é constante para todas as observações cuja informação sobre o número de funcionários é partilhada dentro da mesma empresa, pois a evolução temporal não é considerada. Por forma a evitar esta divergência com a realidade, na qual se presenciam variações nos números de pessoal ao longo dos anos, admitiu-se que a variação do número total de trabalhadores afetos à empresa entre os anos n e $n+1$ afeta na mesma proporção os trabalhadores referentes apenas ao sistema de metro. Esta consideração, apesar de poder não retratar a realidade com exatidão é uma melhor hipótese do que admitir que o pessoal interveniente no sistema se mantém constante ao longo de todos os anos.

Assim, como se constata na Fig. 4.2, na qual se enuncia a relação entre o número de trabalhadores referentes ao sistema de metro (valores reais e calculados) e o número de carruagens, é possível retratar uma relação linear simples entre as variáveis, obtendo-se uma boa correspondência entre as observações e o ajuste traduzido por um coeficiente de determinação (R^2) de 0,940.

Em suma, apesar de não se ter conseguido obter os valores reais do número de pessoal relativo a alguns sistemas de metro, conseguiu-se de forma positiva contornar esse obstáculo com recurso a uma relação linear com uma variável interna do sistema, confirmando resultados admissíveis.

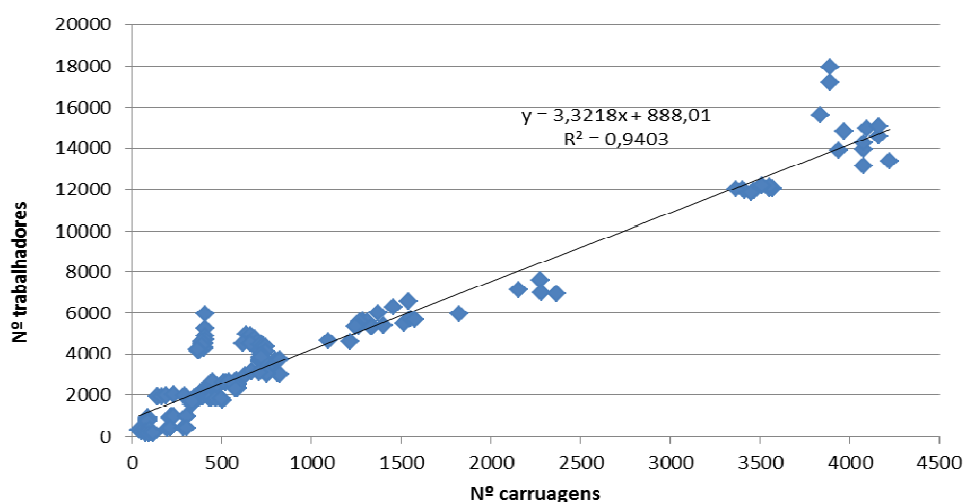


Fig. 4.2 – Relação linear entre o número de trabalhadores e o número de carruagens

4.3. EFICIÊNCIA E EFICÁCIA

Tal como descrito no subcapítulo referente à explicação teórica da metodologia aplicada neste estudo, designa-se por eficiência quando o *output* interveniente na fronteira de produção traduz a oferta do sistema e, por sua vez, eficácia quando o *output* é uma variável de procura. Assim sendo, adotou-se como variáveis de *output* para o cálculo das eficiências e eficácias dos sistemas o número de carruagens.km e o número de passageiros transportados por quilómetro de rede, respetivamente. Ressalva-se, ainda, que no cálculo das eficiências técnicas só participam os indicadores que traduzem o funcionamento interno do sistema de metro.

Porém, nem todas as variáveis internas descritas no capítulo anterior foram consideradas para o cálculo das eficiências técnicas dos sistemas devido a naturezas semelhantes, como por exemplo o número de comboios e o número de carruagens, em que ambas as variáveis identificam a frota disponível. Assim, as variáveis que intervêm no processo e as respetivas abreviaturas usadas de ora em diante estão descritas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Variáveis que intervêm no cálculo das eficiências e eficácias dos sistemas

	Variável interna	Abreviatura
Input	Ano de exploração	ANO
	Extensão da rede (km)	EXT
	Número de estações	NEST
	Número de carruagens	NCR
	Número de trabalhadores	NT
	Existência de barreiras	BAR
Output	Número de carruagens.km	CR.KM
	Número de passageiros por km de rede	PS/KM

4.3.1. ANÁLISE DAS ELASTICIDADES DOS *INPUTS*

Tendo as bases de dados preparadas para correr no *software* de cálculo auxiliar¹, obteve-se as elasticidades dos *inputs* descritas nas Tabela 4.3 e Tabela 4.4 na produção de carruagens.km e de passageiros por quilómetro de rede, respetivamente. O ajuste de fronteira foi realizado com 170 observações no caso do *output* carruagens.km e 181 observações para o *output* número de passageiros transportados por quilómetro de rede, sendo que o número de observações entre os dois *outputs* diverge devido a inacessibilidade à informação referente a ambas as variáveis em todos os sistemas. Relembra-se que o conceito de elasticidade se encontra descrito no subcapítulo 4.1.

Tabela 4.3 – Elasticidades dos *inputs* na produção de carruagens.km²

Input	β	P [Z >z]
CONSTANTE	4,767	0,00%
ANO	0,013	0,01%
EXT	0,730	0,00%
NEST	-0,353	0,03%
NT	0,030	28,15%
NCR	0,651	0,00%

¹ O *software* de cálculo auxiliar utilizado foi o *Limdep*.

² Função produção calculada assumindo que o erro determinístico (u_i) apresenta uma distribuição gama.

Tabela 4.4 – Elasticidades dos *inputs* na produção de passageiros por quilómetro de rede¹

Input	β	P [Z >z]
CONSTANTE	6,380	0,00%
ANO	0,016	0,00%
EXT	-1,111	0,00%
NEST	-0,204	7,46%
NCR	0,729	0,00%
NT	0,353	0,00%
BAR	0,076	3,02%

Como se pode verificar, nas tabelas apresentadas anteriormente, é mencionado o valor P. A definição teórica deste valor não é relevante para este estudo pelo qual não é reportada no presente trabalho. Contudo, este valor estatístico representa o nível de significância que o *input* apresenta sobre o *output* produzido. Neste trabalho considerou-se que o valor P é significativo caso apresente valores abaixo dos 10%.

As elasticidades obtidas conduzem à formação das funções de produção (4.12) e (4.13) abaixo mencionadas para os respetivos *outputs*, e que derivam da equação (4.4).

$$CR.KM = 4,77 \times ANO^{0,01} \times EXT^{0,73} \times NEST^{-0,35} \times NCR^{0,65} \times NT^{0,03} \quad (4.12)$$

$$PS / KM = 6,38 \times ANO^{0,02} \times EXT^{-1,11} \times NEST^{-0,20} \times NCR^{0,73} \times NT^{0,35} \times BAR^{0,08} \quad (4.13)$$

Uma análise mais cuidada dos resultados das elasticidades obtidas para os diferentes *inputs* permite extrair as seguintes ilações:

ANO – O fator tempo é representativo da experiência acumulada pelas empresas exploradoras nos sistemas de metro, pelo que se verifica que com o passar dos anos tal aspeto conduz a um aumento da produção. Contudo verifica-se que o contributo deste *input* para o aumento da produção de carruagens.km como de passageiros por quilómetro de rede é, praticamente, nulo. Isto é, com um incremento de 1% do *input*, obtém-se um ganho de 0,01% e 0,02% nos *outputs* respetivamente referidos anteriormente.

EXT – A extensão da rede traduz a dimensão da infraestrutura do sistema, pelo que um aumento desta grandeza traduz ganhos ao nível da oferta, ou seja o número de carruagens.km produzido, uma vez que são percorridos mais quilómetros por cada carruagem. Por isso, um aumento de 1% na extensão da rede conduz a um aumento em 0,73% na produção da variável de oferta, mantendo-se todos os restantes indicadores internos constantes. Por outro lado, uma expansão do comprimento da rede, permanecendo inalterados os restantes *inputs*, comportaria uma frequência de serviço mais baixa e, consequentemente, tempos de espera maiores. Ora, se como visto anteriormente, uma das principais vantagens do sistema de metro é possuir elevadas frequências de serviço, uma deterioração desta qualidade traduz-se num sistema de metro menos eficaz, ou seja, que atrai menos utentes. A elasticidade desta variável para o *output* passageiros transportados por quilómetro de rede demonstra

¹ Coeficientes de elasticidade determinados atribuindo uma lei de distribuição exponencial ao erro determinístico (ui).

que o aumento da rede em 1% produz uma quebra na produção em 1,11%, permanecendo todos os outros indicadores iguais.

NEST – Enquanto o aumento da extensão de rede conduzia a resultados na produção opostos, o aumento do número de estações exibe efeitos negativos em ambos os *outputs*. Relativamente ao número de carruagens.km, a explicação assenta na premissa de que um maior número de estações, ou paragens, infere um tráfego menos fluído, e portanto serão produzidos menos carruagens.km. Ou seja, um aumento do *input* em 1% traduz uma quebra de 0,35% na oferta, com os restantes *inputs* inalteráveis. No que diz respeito ao *output* de procura, mais paragens no ciclo de transporte traduz-se num aumento de tempo de viagem, e portanto, um menor interesse de uso deste sistema por parte dos utentes. Contudo, a quebra na produção verifica-se inferior do que no caso da oferta, pois um aumento do número de estações também conduz a uma maior facilidade de acesso das pessoas ao sistema. Assim sendo, o aumento em 1% deste *input* prejudica em 0,20% a produção de passageiros transportados por quilómetro de rede, admitindo constantes as outras variáveis.

NCR – O aumento do material circulante é um fator produtivo positivo na produção de ambos os *outputs*. Um maior número de carruagens transmite, obrigatoriamente, um maior número de carruagens.km produzidos, sendo que o incremento de 1% na frota conduz a um ganho de 0,65% na produção de *output*, conservando os restantes *inputs*. Do lado da procura, o aumento de material circulante atrai mais utentes ao sistema, pois confere uma frequência de serviço mais elevada, além de viagens mais confortáveis e menos ocupadas. Assim sendo, a produção de passageiros transportados por quilómetro de rede sofre um aumento de 0,73% se incrementado 1% deste *input*, não alterando os restantes indicadores.

NT – A variável que define número de trabalhadores afetos aos sistemas de metro não constitui qualquer significado para o *output* de oferta, pois o valor P excede os 10%. Contudo, este *input* influencia positivamente a procura. Verifica-se que por cada 1% de incremento desta variável, e mantendo estáveis os restantes indicadores, a produção expande 0,35%. Tal fenómeno pode ser explicado por um serviço que ofereça um carácter mais humano que poderá potenciar atração de mais utentes. Efetivamente, o utilizador sente mais confiança em usar um meio de transporte que transmita segurança e apoio.

BAR – A variável referente à existência de barreiras físicas no acesso ao metro só foi empregue no cálculo da fronteira de produção de passageiros transportados por quilómetro de rede, pois interage como controlo de acesso dos utentes no sistema de metro. Na produção do *output* de oferta, este *input* não tem significado físico visto que as carruagens irão percorrer o mesmo número de quilómetros com ou sem a existência de barreiras. Assim sendo, constata-se uma influência positiva apesar de pouco expressiva, ou seja, um aumento de 1% desta variável transmite um incremento de 0,08% na produção, com os outros *inputs* constantes. Este aumento é justificado por um maior controlo sobre as viagens clandestinas.

4.3.2. ECONOMIAS DE ESCALA

As economias de escala ocorrem quando há expansão de produção sem uma proporcionalidade no aumento do custo de produção. Assim sendo, esta proporcionalidade pode apresentar quatro variantes:

- Rendimento crescente à escala – ocorre quando o aumento da produção é superior ao incremento nos fatores produtivos;
- Rendimento constante à escala – quando o aumento na produção é igual ao incrementado nos fatores de produção;

- Rendimento decrescente à escala – o ganho percentual no volume de produção é inferior ao que ocorre nos fatores de produção;
- Rendimento negativo à escala – verifica-se quando há uma quebra na produção, ou seja, o volume de produção diminui com o aumento dos fatores produtivos.

Deste modo, equacionou-se dois cenários possíveis no aumento das variáveis envolvidas no serviço de metro. No primeiro cenário assumiu-se um aumento apenas dos fatores de produção relacionados com a infraestrutura do sistema, ou seja, a extensão da rede e o número de estações. Constatou-se que o aumento em 1% destas variáveis produz efeitos negativos na produção dos dois *outputs*. O número de carruagens.km produzido sofre um aumento de 0,38%, enquanto a produção de passageiros transportados por quilómetro de rede retrai-se em 1,31%. Em suma, pode-se concluir que o plano geral de infraestruturas dos sistemas de metro encontra-se no limite de evolução e que uma expansão destas variáveis, mantendo as restantes inalteradas, provoca uma deterioração da qualidade do serviço.

No segundo cenário, supôs-se um incremento de 1% somente nas variáveis sobre o número de funcionários do sistema de metro e a quantidade de material circulante e, ao contrário do que se sucede no cenário anterior, verifica-se melhorias positivas na prestação do serviço. Assim, um aumento dos *inputs* anteriormente referidos conduz a um incremento em 0,68% no caso da produção de carruagens.km e 1,08% no número de passageiros transportados por quilómetro de rede. Portanto, conclui-se que estes indicadores conduzem a sistemas de metro mais atrativos.

Uma terceira hipótese pode ser considerada como a união dos dois cenários anteriores. Deste modo, obtém-se um aumento de produção de 1,06% e um decréscimo de 0,23%, respetivamente, no *output* do número de carruagens.km e no número de passageiros transportados por quilómetro de rede com o incremento de 1% em todas as variáveis. Por conseguinte, um aumento uniforme de todos os *inputs* traduz num aumento da oferta do sistema mas numa redução da procura.

4.3.3. ANÁLISE DAS EFICÁCIAS E EFICIÊNCIAS DOS METROS

Para além dos valores das elasticidades, que permitem obter as funções de produção, também foram calculadas as eficiências e eficácias médias referentes às últimas 3 observações disponíveis de cada sistema de metro, recorrendo à equação (4.10). Tais valores apresentam-se na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Eficiências e eficácias dos sistemas de metro

Sistema	Eficiência (%)	Eficácia (%)
Barcelona	97%	82%
Berlim	96%	80%
Bruxelas	53%	89%
Budapeste	92%	76%
Düsseldorf	13% ¹	N.D.
Essen	31%	N.D.
Frankfurt	N.D.	46%
Glasgow	92%	43%
Hamburgo	94%	50%
Helsínquia	N.D.	86%
Lisboa	86%	72%
Londres	96%	65%
Madrid	81%	81%
Milão	90%	72%
Munique	16% ²	95%
Paris	88%	91%
Porto	64%	49%
Praga	87%	97%
Roma	94%	86%
Turim	98%	18%

Para uma melhor visualização converteram-se os dados presentes na Tabela 4.5 para a Fig. 4.3. Na figura, as barras que apresentam valores nulos correspondem a informação não disponível.

¹ O sistema de Düsseldorf obteve resultados excessivamente baixos, o que conduziu a uma reflexão do sucedido. Após uma análise mais cuidada, constata-se que os valores inseridos na base de dados referentes ao número de carruagens.km produzido é excessivamente baixo para a dimensão de uma rede tão extensa como de Düsseldorf, pelo que se pressupõe que os valores usados no cálculo da eficiência de Düsseldorf se refiram a comboios.km. Assim sendo, não poderá ser feita nenhuma conclusão acerca da eficiência do sistema de metro de Düsseldorf.

² O sistema de Munique obteve resultados excessivamente baixos, o que conduziu a uma reflexão do sucedido. Após uma análise mais cuidada, constata-se que os valores inseridos na base de dados referentes ao número de carruagens.km produzido é excessivamente baixo para a dimensão de uma rede tão extensa como de Munique, pelo que se pressupõe que os valores usados no cálculo da eficiência de Munique se refiram a comboios.km, tal como o sucedido no sistema de Düsseldorf. Assim sendo, não poderá ser feita nenhuma conclusão acerca da eficiência do sistema de metro de Munique.

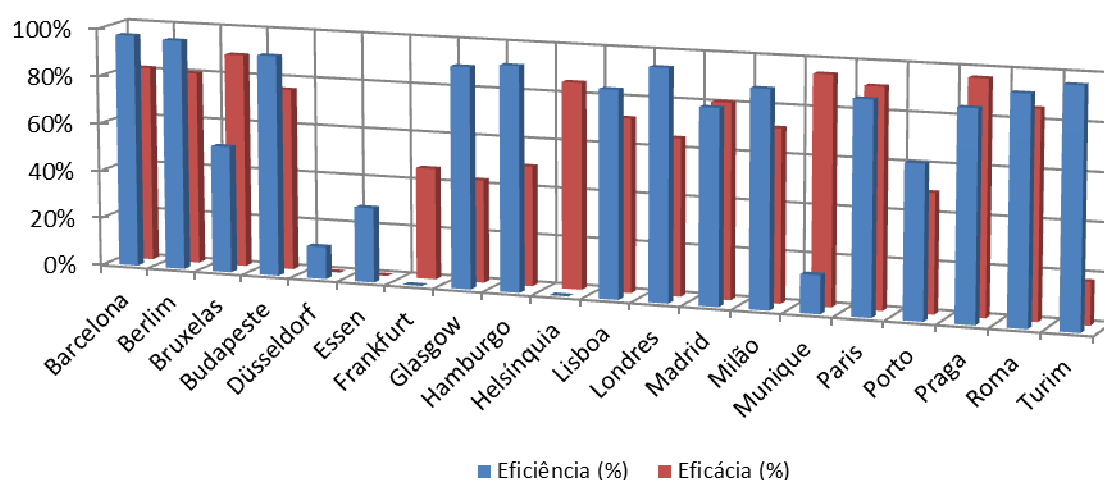


Fig. 4.3 – Representação gráfica das eficiências e eficácias dos sistemas de metro

Ressalva-se que a eficácia relativa ao metro de Turim é calculada apenas com 1 observação relativa ao ano de 2006, que coincide com o ano de abertura do metro. Assim sendo, o valor obtido não é representativo da atual situação, podendo apenas se inferir que no ano inicial de um sistema de metro a eficácia será baixa.

Como se pode constatar analisando a Fig. 4.3 não existe uma relação entre eficiência e eficácia, isto é, um sistema pode ser eficiente sem que isso signifique que é eficaz, ou vice-versa. No entanto, um sistema de metro só apresenta um bom desempenho global caso se observe bons índices de eficiência e eficácia, verificando-se que o sistema mais eficiente e mais eficaz não é necessariamente o que oferece mais transporte e transporta mais utentes, mas sim, o que consegue produzir o máximo dos *outputs* de acordo com a combinação de *inputs* que o sistema dispõe.

Assim sendo, pode-se considerar que os valores de eficiência técnica obtidos derivam, principalmente, das políticas de gestão da empresa e da influência de variáveis relativas à organização urbana. Os indicadores externos não produzem qualquer efeito sobre a oferta que o sistema fornece aos utilizadores, por isso, estas variáveis afetam apenas a eficácia, tema que será abordado no próximo subcapítulo.

Por outro lado, as práticas de gestão influenciam a oferta e a procura. Do lado da eficiência, é da inteira responsabilidade da empresa a decisão da oferta que fazem ao público, tanto na quantidade, como em frequência e qualidade, sem descurar os aspetos económicos e políticos. Por sua vez, a administração intervém na procura através do serviço que presta e das condições que oferece. Por exemplo, aumentar a frequência de veículos, melhores condições de higiene e segurança aliadas a boas estratégias publicitárias intervêm no aumento da procura. Portanto, pode-se concluir que a oferta influencia a procura e vice-versa e que molda as decisões administrativas.

A Fig. 4.4 estabelece a relação entre a eficácia e a eficiência para os sistemas que reúnem ambos os valores.

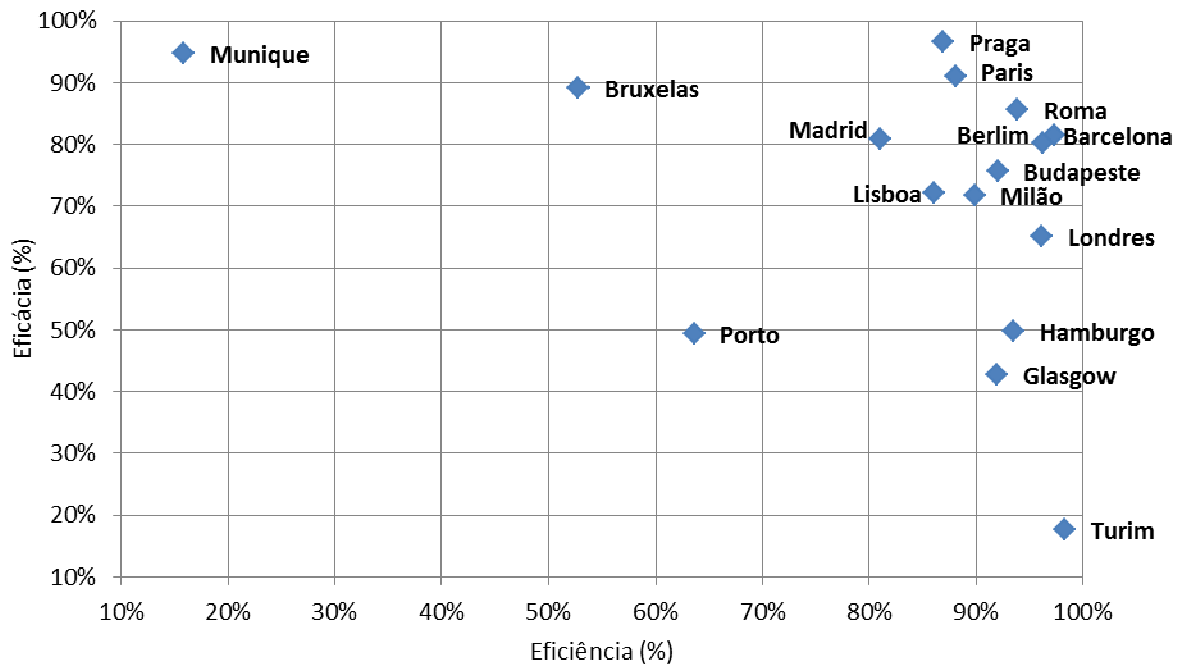


Fig. 4.4 – Dispersão dos sistemas de metro por eficiências e eficácias

Facilmente se constata que a eficiência é completamente controlável pela empresa, pelo que praticamente todas as empresas apresentam elevados valores de eficiência, excetuando Bruxelas e Porto (excetua-se o caso de Munique pelos motivos anteriormente expostos). Tais resultados são aceitáveis uma vez que, teoricamente, as empresas apenas dependem delas próprias para alcançar 100% de eficiência. Portanto, elevados valores de eficiência indicam boas gestões.

No que diz respeito à eficácia o leque é mais vasto, havendo sistemas muito eficazes e sistemas pouco eficazes. Contudo, é notória a concentração de sistemas no canto superior direito da figura, o que indica que grande porção dos sistemas estudados apresenta boas características de eficiência e de eficácia.

4.4. INTERFERÊNCIA DAS VARIÁVEIS EXTERNAS NA EFICÁCIA

Como descrito no subcapítulo anterior, as condições da área metropolitana em que os sistemas de metro servem colaboram na determinação da eficácia dos sistemas, ou seja, influenciam o número de pessoas que irão usar o metro como meio de transporte. Assim sendo, pretende-se no presente capítulo determinar quais os fatores que se demarcam na interferência da eficácia, para além de verificar a contribuição percentual dos indicadores externos na eficácia dos sistemas de metro estudados.

4.4.1. METODOLOGIA

No intuito de calcular a influência de cada variável externa na eficácia do sistema, recorreu-se à formulação de uma fronteira¹ com base na equação (4.14). Contudo, evidencia-se que o conceito de produção não é mais aplicável, visto que não é possível produzir eficácia. Desta forma, o conceito de

¹ Cálculo efetuado com o auxílio do *software* *Limdep*.

elasticidade de produção não se adequa, pelo que os coeficientes que fazem variar proporcionalmente a eficácia dos sistemas de metro podem ser denominados fatores de proporcionalidade. Também o conceito de *input* e *output* deixam de ser válidos.

$$\ln(EE_t) = \left[\alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \ln z_i \right] + \varepsilon \quad (4.14)$$

- EE_t – Eficácia total;
- z_i – Variável externa i ;
- α_0 – Constante de regressão;
- $\alpha_i (1 \leq i \leq n)$ – Coeficiente de proporcionalidade da variável externa i na eficácia;
- ε – Erro composto ($\varepsilon = v_i - u_i$).

Assim, é possível verificar como os fatores externos estudados afetam a eficácia total, compondo parte da parcela determinística da equação (4.14). A restante parte da parcela determinística é dada pela constante de regressão, α_0 , que se refere a fatores não identificados, mas que numa primeira abordagem consideraremos como tendo uma natureza, maioritariamente, externa. Deste modo, a parcela determinística refere-se à eficácia que o sistema de metro tem em responder às necessidades da cidade. Por outro lado, a eficácia total é resultado de uma distribuição assimétrica calculada no subcapítulo anterior, assim sendo, é de esperar, caso as variáveis externas se adequem, uma proximidade entre a distribuição do erro determinístico desta fronteira, u_i , e a distribuição da eficácia total. Tal proximidade traduz-se na presença de um erro estocástico aproximadamente nulo, $v_i \approx 0$. Deste modo, o erro composto pode ser considerado, praticamente, igual a u_i , $\varepsilon \approx u_i$, e como se considera que quase todos os fatores externos se encontram discriminados na parcela determinística da equação da fronteira, pode-se assumir que u_i depende, principalmente, de fatores internos.

Assim sendo, a equação (4.14) pode ser reescrita na equação (4.15), onde EE_{int} e EE_{ext} são, respetivamente, a eficácia interna e eficácia externa.

$$\ln EE_{int} = \ln EE_t - \ln EE_{ext} \quad (4.15)$$

As variáveis que integram a função são descritas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Variáveis que integram a equação (4.14)

Variável externa	Abreviatura
Existência de sistema de metro adjacente	CMET
Existência de sistema de tram interligado	CTRA
Densidade populacional	DENPOP
Dependência demográfica	DEPDEM
Dimensão média do agregado familiar	AGREG
Taxa de desemprego	DES
Crescimento exponencial da população	POP2
Taxa de motorização	CREG
Produto interno bruto <i>per capita</i>	PIB
Eficácia total	EET

4.4.2. ANÁLISE COEFICIENTES DE PROPORCIONALIDADE

Com a base de dados composta por 181 observações e as variáveis intervenientes foram obtidos os coeficientes de proporcionalidade descritos na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Coeficientes de proporcionalidade

Input	α	P [Z >z]
CONSTANTE	-0,208	0,01%
CMET	-0,009	0,00%
CTRA	0,004	9,43%
DENPOP	0,006	1,21%
DEPDEM	-0,184	0,00%
AGREG	0,189	0,00%
DES	-0,023	0,00%
POP2	-0,002	0,00%
CREG	-0,108	0,00%
PIB	0,085	0,00%

O valor P apresentado na Tabela 4.7 tem o significado mencionado na descrição das elasticidades dos *inputs* do subcapítulo anterior, sendo que o intervalo significativo adotado continua a ser para valores abaixo dos 10%.

De acordo com os coeficientes de elasticidade determinados pode-se inferir as seguintes conclusões:

CMET – A variável referente à existência de um sistema de metro adjacente apresenta um efeito desfavorável, apesar de lhe corresponder um valor, praticamente, nulo. Isto traduz que na presença de um outro meio de transporte similar, a procura irá repartir-se, e portanto, a eficácia no sistema de metro estudado diminui.

CTRA – A significância desta variável encontra-se no limite aceitável estabelecido e o valor apresentado indica que a presença de um sistema de *tram* interligado não tem uma interferência relevante na procura do sistema.

DENPOP – O crescimento da densidade populacional na área urbana afeta positivamente a eficácia do sistema de metro, apesar do coeficiente ser pouco expressivo. Evidentemente, e como foi referido anteriormente, o metro é um meio de transporte que se insere no coração da área urbana, que se define por uma elevada concentração de pessoas, por isso, é racional que um aumento da densidade populacional repercuta um aumento do número de pessoas transportadas.

DEPDEM – O aumento da dependência demográfica desfavorece a eficácia do sistema de metro, e apresenta um dos dois valores de influências mais relevantes. Esta tendência vem creditar o sistema de metro como um meio de transporte preferencial em movimentos pendulares, característicos da população ativa, devido à sua rapidez e fiabilidade. Assim, uma população envelhecida, além de deslocamentos menos frequentes e de maior cuidados na mobilidade, prefere o uso de transportes que ofereçam maior comodidade (transporte porta à porta) e menor agitação.

AGREG – Corresponde ao outro valor de maior importância, contudo no sentido oposto à variável anterior, sendo que o crescimento da dimensão média do agregado familiar impulsiona um incremento

na eficácia. Efetivamente, o valor obtido entre as variáveis DEPDEM e AGREG são muito similares, pelo que se pode interpretar que um incremento percentual na dimensão média do agregado familiar deve-se, principalmente, pelo aparecimento de recém-nascidos no seio familiar. Isto indica, de um modo geral, que há mais pessoas em idade fértil, o que transporece um aumento da percentagem de população ativa, que é a principal consumidora do serviço disponibilizado pelo sistema de metro. Por outro lado, com o aumento da dimensão média do agregado familiar e condicionando a disponibilidade do automóvel para uso individual, há mais pessoas com necessidades de deslocação que tem de ser supridas pelos transportes públicos, nomeadamente o metro.

DES – O aumento da taxa de desemprego traduz uma influência negativa, pois como já dito, o sistema de metro é destinado, maioritariamente, a movimentos com um padrão pendular, referidos usualmente como deslocações casa-trabalho-casa. Assim sendo, um incremento na taxa de desemprego implica menos deslocações de índole pendular, e portanto, menos passageiros transportados.

POP2 – Esta variável intenta representar um aumento desmesurado da população na área metropolitana, elevando ao quadrado a população existente. Verifica-se que tal fenómeno traduz efeitos negativos na eficácia, pois um aumento exponencial de utentes causaria sobrecargas na capacidade de transporte, prejudicando o funcionamento do sistema e tornando-o menos atrativo.

CREG – Como seria de esperar, um aumento da taxa de motorização traduz uma maior adesão da população ao transporte privado em detrimento do transporte público. Portanto, um incremento na taxa de motorização representa uma diminuição no número de utentes transportados.

PIB – O Produto Interno Bruto *per capita* representa o poder económico, em média, por habitante. Uma capacidade económica é sinónimo de um maior desenvolvimento tecnológico e social da zona metropolitana. Tal ambiente proporciona sistemas de metro mais atrativos e inflama uma maior necessidade de mobilidade. Portanto, é razoável um aumento do PIB *per capita* aumentar a eficácia do sistema de metro.

4.4.3. EFICÁCIA EXTERNA E EFICÁCIA INTERNA

A Tabela 4.8 apresenta a eficácia externa e interna, em média para os 3 últimos anos sobre os quais foi possível a aquisição de dados referente a cada sistema de metro. As expressões que permitiram o cálculo das eficácias interna e externa foram, respetivamente, as equações (4.16) e (4.17), sendo que na última equação a_i representa o valor do logaritmo natural da eficácia externa determinado pela parcela determinística da função de fronteira.

$$EE_{\text{int}} = e^{-E(u_i|\varepsilon_i)} \quad (4.16)$$

$$EE_{\text{ext}} = e^{a_i} \quad (4.17)$$

Tabela 4.8 – Percentagens das eficácias externas e internas dos sistemas de metro

Sistema	Eficácia Total (%)	Eficácia Interna (%)	Eficácia Externa (%)
Barcelona	82%	87%	90%
Berlim	80%	90%	86%
Bruxelas	89%	95%	90%
Budapeste	76%	84%	87%
Frankfurt	46%	48%	92%
Glasgow	43%	43%	95%
Hamburgo	50%	53%	91%
Helsínquia	86%	84%	98%
Lisboa	72%	81%	86%
Londres	65%	72%	87%
Madrid	81%	86%	90%
Milão	72%	77%	90%
Munique	95%	99%	92%
Paris	91%	98%	88%
Porto	49%	54%	88%
Praga	97%	99%	94%
Roma	86%	97%	85%
Turim	18%	19%	88%

Efetivamente, a consideração inicial em que se compunha a hipótese da constante de regressão se dever quase exclusivamente a fatores externos não se verifica, pois o sistema de Helsínquia apresenta inicialmente valores de eficácia externa ligeiramente superiores a 100%. Isto infere que existe um resquício de fatores internos que são contemplados na constante de regressão, α_0 . Assim, e por forma a eliminar esses vestígios de contribuições internas calculou-se uma eficácia externa ajustada (AEE_{ext}) assumindo-se o valor máximo como sendo igual a 100% e todos os restantes sistemas sofrem uma variação linear em relação ao máximo. Tal relação é dada pela equação (4.18), e os dados referentes à eficácia externa na Tabela 4.8 são os extraídos desta nova relação.

$$AEE_{ext} = \frac{EE_{ext}}{(EE_{ext})_{\max}} \quad (4.18)$$

A determinação da percentagem de eficácia total que depende dos fatores externos e internos tem de se realizar com os valores obtidos em logaritmo natural, ou seja, quando se está perante uma função linear. Deste modo, obtém-se a Fig. 4.5 onde se pode constatar qual a percentagem da eficácia total que advém de causas internas ou externas.

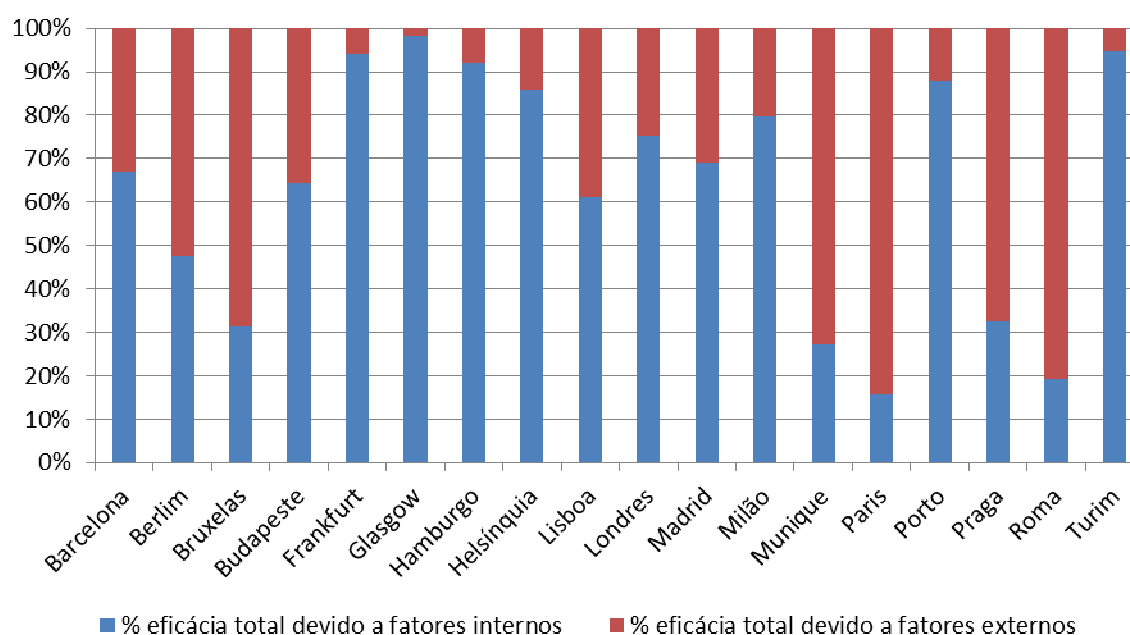


Fig. 4.5 – Percentagem da eficácia total de cada sistema devido a fatores internos e a fatores externos

Como se pode verificar, em praticamente todos os sistemas a eficácia total tem causas internas, excetuando-se os sistemas de Berlim, Bruxelas, Munique, Paris, Praga e Roma que apresentam uma percentagem da eficácia total que é devida a fatores externos superior a 50%. Portanto, pode-se concluir que estes sistemas estão muito dependentes de fatores externos para poderem melhorar a sua eficácia total. Teoricamente, os sistemas são suscetíveis de alcançar uma eficácia interna de 100%, mas nunca uma eficácia total de 100%, pois como a eficácia depende de fatores urbanos, o sistema de metro nunca irá responder a 100% às necessidades da área metropolitana.

Efetivamente, há uma clara evidência que sistemas de metro de maiores dimensões assumem uma fração de dependência dos fatores internos superior aos sistemas de metro de menores proporções.

Contudo, este rácio entre fatores internos e externos na eficácia total não determina quais os sistemas de metro que respondem com eficácia às necessidades do ambiente urbano e se dependem das características internas da empresa para melhorar a eficácia total. Tal estudo é possível ser efetuado analisando a Fig. 4.6.

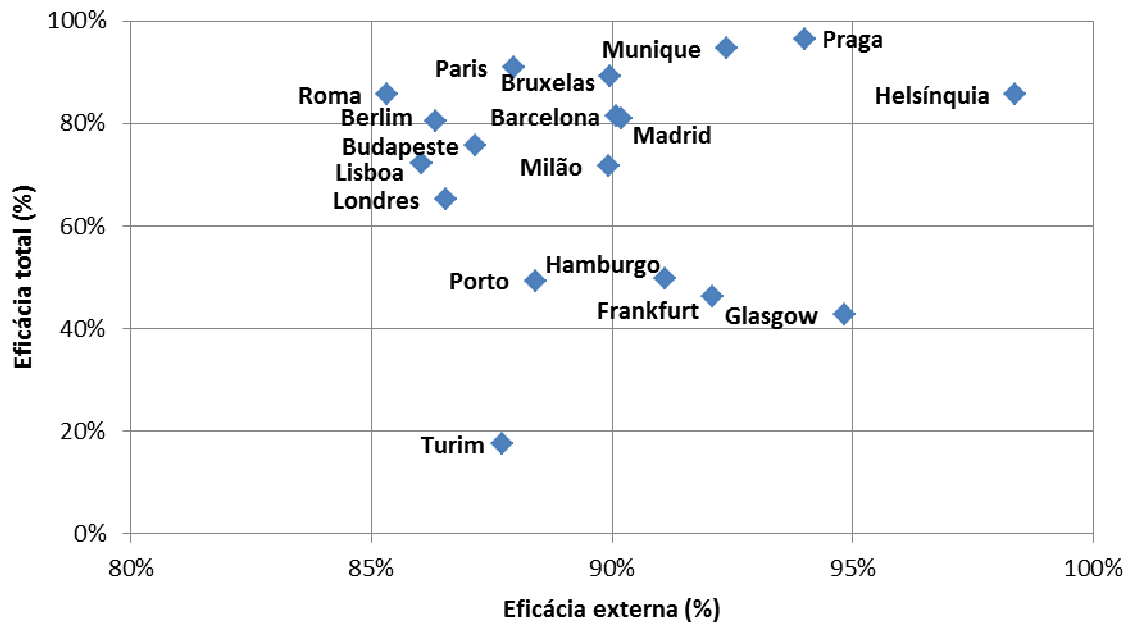


Fig. 4.6 – Relação entre a eficácia total e a eficácia externa de cada sistema

Numa primeira observação é óbvio que nenhum dos sistemas pode ser considerado extremamente ineficaz face às necessidades externas, pelo que, os sistemas de metro que apresentam índices de eficácia mais baixos apenas dependem de medidas internas para obter resultados mais favoráveis. Relativamente ao metro de Turim, tal como referido anteriormente, este sistema só consta do ano de 2006 nesta análise, que coincide com o seu ano de abertura, pelo que não se pode retirar conclusões sobre os valores obtidos neste estudo para esse sistema de metro no plano atual. Por fim, constata-se que os sistemas de metro anteriormente apontados como os sistemas que mais dependiam de variáveis externas, apresentam os melhores valores de eficácia, pelo que se pode concluir que quanto melhor é a eficácia interna mais as falhas devido a indicadores externos são um constrangimento na concretização da eficácia ótima.

4.5. CONCLUSÕES

As conclusões deste capítulo podem ser divididas de acordo com os quatro objetivos a que este trabalho se propõe.

Assim sendo, relativamente às elasticidades de produção pode-se concluir que o número de estações conduz a uma quebra na produção de carruagens.km e de passageiros transportados por quilómetro de rede. Contrariamente, o aumento do número de carruagens beneficia tanto a oferta como a procura, sendo respetivamente, número de carruagens.km produzido e número de passageiros transportados por quilómetro de rede. Por fim, verifica-se que o aumento da extensão da rede de metro causa uma quebra severa na quantidade de utentes transportados. Assim, de um modo geral para todos os sistemas de metro estudados, o investimento que exhibe melhor retorno, sobretudo no número de passageiros transportados, sem considerar termos económicos, é um aumento da quantidade de material circulante e do número de trabalhadores, permanecendo as restantes variáveis constantes. Este investimento exhibirá rendimentos constantes à escala em relação à procura e rendimentos decrescentes à escala na oferta.

Relativamente à eficiência técnica, esta pode ser avaliada como eficiência ou como eficácia. No que toca à eficiência pode-se concluir que depende, quase exclusivamente, da gestão interna das empresas, pelo que em teoria é possível haver entidades 100% eficientes. Esta especulação é corroborada pelos resultados encontrados, onde quase todos os sistemas apresentam valores de eficiência superiores a 80%, com exceção dos sistemas de Munique, Düsseldorf, Porto e Bruxelas. Contudo, em relação a Munique e Düsseldorf os valores extremamente baixos não podem ser considerados uma vez que se deve a um equívoco na recolha de dados, tal como foi anteriormente invocado. Do lado da eficácia, obtém-se uma ampla gama de valores, entre os 43% e os 97%, destacando-se os sistemas de Praga, Munique e Paris com, respetivamente, 97%, 95% e 91%, e são os únicos sistemas que verificam eficácias superiores a 90%. Em contrapartida, os sistemas de Frankfurt, Glasgow e Turim obtêm as piores qualificações. Contudo, o valor para o sistema de Turim é baseado apenas no ano de abertura do sistema, pelo que, não expressa a realidade atual.

Mas o vasto leque de valores de eficácia obtido deve-se ao fato da dependência com o meio urbano que este índice revela. Assim, e apesar de todos os fatores externos se mostrarem significativos e interventivos na dependência, apenas três expressam um contributo relevante – dimensão média do agregado familiar, dependência demográfica e taxa de motorização. A dimensão média do agregado familiar e a dependência demográfica são medidas opostas que intervêm na definição da taxa de população ativa, que se verifica preponderante na atração de utentes. Deste modo, apresentam uma proporcionalidade semelhante e oposta. Portanto, de uma maior dependência demográfica pode-se depreender uma menor percentagem de população ativa, assim como, um aumento da dimensão média do agregado familiar infere uma crescente taxa de população ativa, sendo que maiores taxas de população ativa indicam aumento da eficácia. A outra variável, a taxa de motorização, como seria de esperar, traduz que um maior número de carros registados prejudica a eficácia dos sistemas.

Por último objetivo, os resultados de eficácia externa obtidos indicam que todos os sistemas apresentam um dimensionamento adequado às necessidades urbanas, com todas as empresas apresentarem valores superiores a 85%. Logo, infere-se que todos os sistemas estudados dependem da eficácia interna para melhorar a eficácia global, ou seja, de adotar medidas que atraiam um maior número de utentes. Por outro lado, também é visível que, como a eficácia depende de fatores externos é, teoricamente impossível alcançar 100% de eficácia, nos sistemas com taxas de eficácia mais elevadas que há uma maior preponderância dos fatores externos nos resultados obtidos, o que significa, que internamente os sistemas são extremamente eficazes.

4.5.1. COMPARAÇÕES COM ESTUDOS ANTERIORES

O conceito de eficácia e de eficiência tem sido alvo de estudo no âmbito das mais variadas áreas. Contudo, a abordagem destes conceitos com foco nos sistemas de metro permanece pouco explorada. Todavia, quatro investigações abordam este assunto com recurso a métodos diferentes na produção do modelo de fronteira.

Efetivamente, enquanto o estudo elaborado por (Santos, C.J.P., 2008) e por (Santos, J.S., Pedro; Costa, Álvaro e Cunha Marques, Rui, 2010) realizaram uma análise recorrendo ao Método de Programação não Paramétrico, internacionalmente denominado por DEA, nos estudos de (Lobo, A.M.C.V., 2008) e (Lobo, A.C., António, 2010) a eficiência e eficácia dos sistemas de metro é determinada com recurso ao Método Estatístico Estocástico.

As conclusões de (Santos, C.J.P., 2008) indicam que um aumento dos custos de produção e do número de trabalhadores afetos ao sistema de metro tem um efeito prejudicial na produção. Evidencia,

também, os sistemas de Londres e de Moscovo como sistemas eficientes, e destaca os sistemas de metro portugueses, Lisboa e Porto, com uma *performance* ineficiente, abaixo da média europeia. Por sua vez, o estudo levado a cabo por (Santos, J.S., Pedro; Costa, Álvaro e Cunha Marques, Rui, 2010) compara a eficiência e a eficácia dos metros portugueses com a média europeia. Neste caso, ambos os estudos concordam na elevada ineficiência do sistema do Porto e de Lisboa face aos restantes sistemas existentes na Europa. Para além disso, (Santos, J.S., Pedro; Costa, Álvaro e Cunha Marques, Rui, 2010) evidencia que o Produto Interno Bruto e a população são fatores externos que influenciam positivamente a eficácia, ao contrário do número de estações e da extensão da rede. Assim sendo, verifica-se que os resultados apontados por (Santos, J.S., Pedro; Costa, Álvaro e Cunha Marques, Rui, 2010) não são, de um modo geral, divergentes dos obtidos neste estudo.

Relativamente aos estudos com recurso a modelos estocásticos, no estudo realizado por (Lobo, A.C., António, 2010) os *outputs* para a determinação da eficiência e eficácia foram, respetivamente, lugares.km produzidos e número de passageiros transportados. Deste modo, por divergência no *output* usado, os resultados da eficiência não podem ser comparados, sendo que (Lobo, A.C., António, 2010) determina os sistemas de Munique e de Amesterdão como, respetivamente, o mais e menos eficiente. Nos índices de eficácia, o estudo indica Munique como o sistema mais eficaz, em oposição a Bielefeld. Este estudo indica ainda que uma gama de valores de eficácia entre os 19% e os 97%, sendo que o sistema de metro do Porto ocupa a segunda posição como sistema mais ineficaz com 61% de eficácia. Para além disso, de entre os fatores produtivos usados neste trabalho, (Lobo, A.C., António, 2010) considera o aumento do número de estações como a única causa na redução de produção de ambos os *outputs*. Como se pode constatar, o trabalho de (Lobo, A.C., António, 2010) partilha de pontos comuns tanto com este estudo como com os trabalhos mencionados anteriormente, nomeadamente no que respeita à elevada gama de valores de eficácia, o sistema do Porto apresentar eficácias baixas, e o aumento do número de estações provocar uma quebra na produção.

O estudo de (Lobo, A.M.C.V., 2008) foi elaborado com a base de dados primitiva do presente estudo, que foi ampliada e corrigida, e por isso constitui uma análise mais elaborada nas diferenças e semelhanças das conclusões entre estudos. As Fig. 4.7 e Fig. 4.8 ilustram, para os sistemas em comum nos dois estudos, as diferenças nos resultados das eficiências e eficácias respetivamente, calculadas com os mesmos *outputs*. Salvaguarda-se que o sistema de Budapeste apresenta 0% de eficiência na Fig.4.7 em relação ao estudo anterior, pois tal valor não foi calculado no estudo em questão.

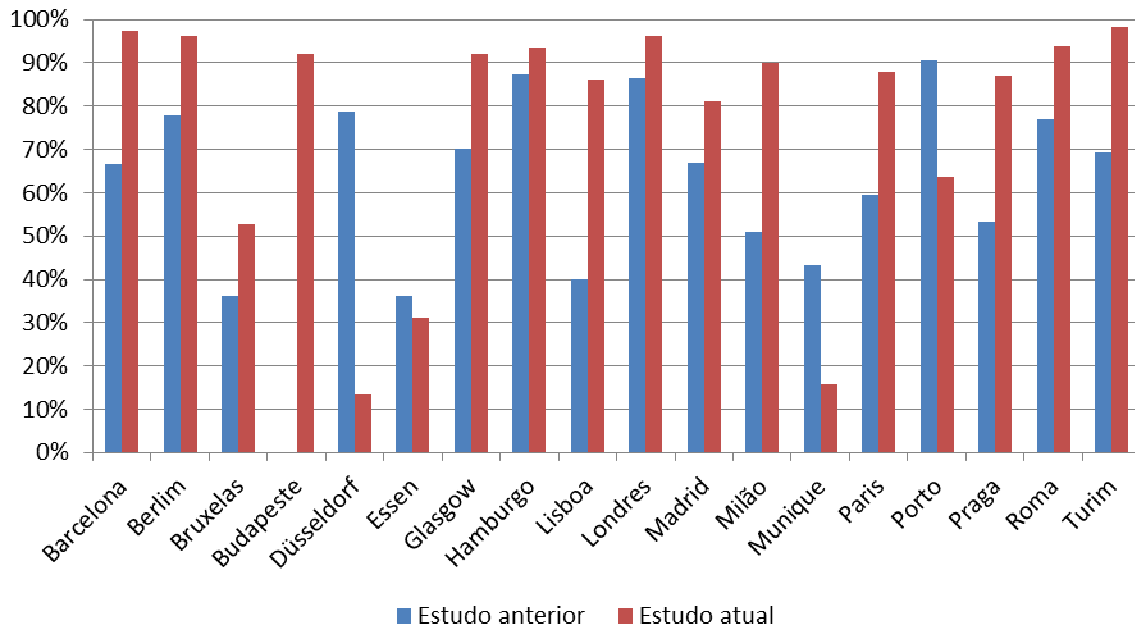


Fig. 4.7 – Diferenças de resultados de eficiência entre o estudo atual e o estudo de (Lobo, A.M.C.V., 2008)

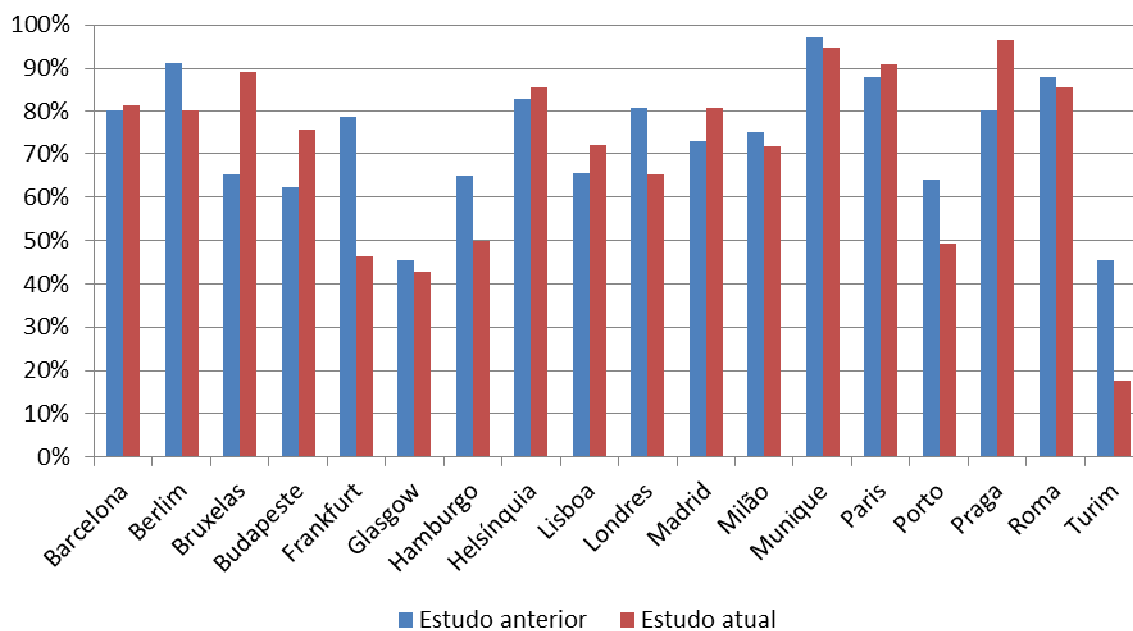


Fig. 4.8 - Diferenças de resultados de eficácia entre o estudo atual e o estudo de (Lobo, A.M.C.V., 2008)

Efetivamente, a maior lacuna do estudo de (Lobo, A.M.C.V., 2008) é não trabalhar apenas com dados relativos ao sistema de metro, nomeadamente no número de efetivos e nos *outputs*. Assim sendo, a base de dados atual elimina esse entrave pelo que torna os resultados mais fiáveis, pois não intervêm no cálculo da eficiência e da eficácia outros meios de transportes. Para além disso, são eliminados sistemas de metro, apesar de se trabalhar com mais observações nos métodos econométricos devido à expansão temporal na base de dados. Este fator contribui para a formação de uma fronteira de produção com base em dados menos heterogêneos, e portanto mais fiável.

Contudo, como se pode observar em ambas as figuras as oscilações entre os dois resultados são, relativamente e na sua generalidade, pequenas. Nos casos em que se verifica uma maior discrepância entre resultados, como o caso da eficiência dos sistemas do Porto e de Lisboa, a justificação assenta na base de dados, sendo que os resultados atuais podem ser considerados mais fiáveis, por advirem de uma base de dados igualmente mais fiável.

Em suma, verifica-se que o estudo presente neste trabalho converge com muitas das análises realizadas em estudos anteriores, e isso reflete segurança nas conclusões e resultados obtidos no presente trabalho.

5

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O presente estudo avalia a eficiência e eficácia de sistemas de metro com recurso ao método paramétrico estocástico, ajustando uma fronteira de produção a uma amostra com 20 sistemas de metro de 10 países da União Europeia. Além disso, este trabalho incorpora uma análise crítica da influência do ambiente urbano em que o sistema de metro opera na eficácia.

Este estudo pode ser empregue de forma a reduzir as despesas nos sistemas de metro. A redução dos gastos nos transportes públicos, particularmente nos sistemas de metro, é, atualmente, uma preocupação por se verificarem elevados prejuízos. Pois, tal como referido no segundo capítulo, a maioria dos sistemas de metro são geridos por organismos públicos, que visam garantir um serviço social, sem a preocupação de garantir sustentabilidade económica. Assim, é necessário entender que condições e medidas podem proporcionar um melhor desempenho operacional, maximizando a eficiência e eficácia dos sistemas de metro. Estas medidas são um reflexo do entendimento dos fatores que influenciam o serviço, assim como, uma adoção de conhecimentos com base na prática dos sistemas que evidenciam melhores resultados.

Em suma deste estudo, pode-se concluir com este estudo que:

- O aumento do número de carruagens é benéfico no aumento da oferta e da procura, por aumentar a frequência de veículos.
- A taxa de eficiência dos sistemas de metro depende exclusivamente da gestão da empresa, pelo que se verifica que quase todos os sistemas apresentam bons resultados, à exceção de Bruxelas e Porto.
- Em termos de eficácia, os resultados são mais dispersos sendo que os sistemas de metro de Praga, Munique e Paris apresentam os melhores resultados e Frankfurt e Glasgow os piores resultados.
- As proporções da pirâmide etária dos habitantes interferem com bastante evidência na eficácia dos sistemas de metro, verificando-se que uma maior percentagem de população ativa aumenta a eficácia dos sistemas analisados.
- Verifica-se que todos os sistemas apresentam bons resultados de eficácia externa, o que significa que a respetiva dimensão é adequada para fazer face às necessidades impostas pelas características urbanas.
- Praticamente todos os sistemas estudados dependem apenas de políticas internas para obter melhores resultados de eficácia.

- Os sistemas que apresentam o melhor desempenho, segundo o número de carruagens.km produzido e o número de passageiros transportados por quilómetro de rede, são Praga, Paris e Roma.

Contudo, este trabalho contém lacunas que, por dificuldades alheias, podem ser melhoradas e eliminadas em futuros estudos.

As dificuldades concentram-se sobretudo ao nível da recolha de dados. Tal como já referido, os dados disponibilizados para acesso público pelas entidades responsáveis pelos sistemas de metro são heterogéneos quanto à escolha de variáveis, informação restrita e partilha de informação com outros meios de transporte operados pela mesma entidade.

Em relação a desenvolvimentos futuros, dever-se-á, caso seja possível, procurar uma cooperação das empresas responsáveis na partilha de informação de forma a retificar incorreções existentes na base de dados, e uma expansão de dados, apenas com informação relativa ao sistema de metro, não somente no âmbito temporal, mas também espacial, abrangendo um maior número de sistemas europeus, e se possível abranger e confrontar com novas realidades, como sistemas de metro americanos e asiáticos. Para além disso, deve-se experimentar novas variáveis que expressem o desenvolvimento tecnológico das empresas, como por exemplo o consumo de eletricidade de cada sistema, que pode representar a eficiência energética de cada entidade. Por outro lado, verifica-se que todo o estudo desenvolvido neste trabalho retém a perspetiva do fornecedor de serviço, sem referir a opinião do consumidor em relação à qualidade do serviço. Assim sendo, uma empresa pode ser eficiente e eficaz sem que transmita um serviço agradável ao consumidor, pelo que deve ser incorporada uma variável sobre a satisfação dos utentes.

Por fim, o estudo realizado apresenta uma característica de mutabilidade ao longo dos anos, pelo que é aconselhável rever as conclusões do estudo com periodicidade.

BIBLIOGRAFIA

Lobo, António Manuel Cabral Vieira - *Análise da Exploração de Redes Urbanas de Transporte Ferroviário*. FEUP: Universidade do Porto, 2008.

Lobo, António; Couto, António - *Analysis of the operational performance of european urban rail transport networks - production efficiency and effectiveness*, 2010.

Rodrigue, J-P - *The Geography of Transport Systems*, 2009. Disponível em <http://people.hofstra.edu/geotrans>.

Santos, Carina Joana Pinto - *Análise do Desempenho dos Metropolitano na Europa*, Instituto Superior Técnico, 2008.

Santos, Joana; Simões, Pedro; Costa, Álvaro e Cunha Marques, Rui - *Efficiency of the Portuguese metros. is it different from other European metros?*, 2010.

Albalade, Daniel; Bel, Germà - *Factors explaining urban transport systems in large European cities: A cross-sectional approach*, 2009.

da Silva, João Oliveira Correia - *Rendimentos à escala e economias de escala*, Faculdade de Economia da Universidade do Porto, 2011.

de Sousa, Maria Inês Ferreira Drumond - *A Medição da Actividade Económica*, Faculdade de Economia da Universidade do Porto, 2007.

Esteves, E.; Sousa, C. - *Regressão Linear Múltipla*, Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve, 2007.

Franco, Francisco; Fortuna, Mário - *O método de fronteira estocástica na medição da eficiência dos serviços hospitalares: uma revisão bibliográfica*, Edição da Associação Portuguesa de Economia da Saúde, Lisboa, 2003.

Greene, W. H., *Limdep Version 7.0 User's Manual – Revised Edition*. Econometric Software, Inc., Plainview, NY, 1998.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Metropolitano>,

<http://ec.europa.eu/eurostat>, Abril, 2012.

<http://www.atm.cat>, Março, 2012.

<http://www.atm-mi.it>, Março, 2012.

<http://www.bkv.hu>, Março, 2012.

<http://www.bogestra.de>, Março, 2012.

<http://www.bvg.de>, Março, 2012.

<http://www.comune.torino.it/gtt>, Março, 2012.

<http://www.ctm-madrid.es>, Março, 2012.

<http://www.dpp.cz>, Março, 2012.

<http://www.evag.de>, Março, 2012.

<http://www.gvb.nl>, Março, 2012.

<http://www.hel.fi/wps/portal/HKL>, Março, 2012.

<http://www.hochbahn.com>, Março, 2012.
<http://www.kvb-koeln.de>, Março, 2012.
<http://www.metrodoporto.pt>, Março, 2012.
<http://www.metrolisboa.pt>, Março, 2012.
<http://www.metromadrid.es>, Março, 2012.
<http://www.metroroma.it>, Março, 2012.
<http://www.metrotorino.it>, Março, 2012.
<http://www.mivb.be>, Março, 2012.
<http://www.mvg-mobil.de>, Março, 2012.
<http://www.ratp.fr>, Março, 2012.
<http://www.rheinbahn.de>, Março, 2012.
<http://www.stif.info>, Março, 2012.
<http://www.tmb.net>, Março, 2012.
<http://www.tfl.gov.uk>, Março, 2012.
<http://www.uestra.de>, Março, 2012.
<http://www.urbanrail.net>, Março, 2012.
<http://www.vag.de>, Março, 2012.
<http://www.vrr.de>, Março, 2012.

ANEXOS

A.1. BASE DE DADOS

Sistema	Ano	Infraestruturas			Intersecções por 10 km de rede
Cidade	Ano	Extensão (km)	N.º Linhas	N.º Estações	
Barcelona	1999	81,2	5	96	1,965
	2000	81,2	5	96	
	2001	83,6	5	99	
	2002	83,6	5	99	
	2003	85,9	6	104	
	2004	85,9	6	104	
	2005	85,9	6	104	
	2006	85,9	6	104	
	2007	85,9	6	123	
	2008	87,6	6	125	
	2009	93,1	7	128	
	2010	101,8	7	138	
Berlim	2002	144,9	9	170	1,162
	2003	144,9	9	170	
	2004	144,9	9	170	
	2005	144,9	9	170	
	2006	144,9	9	170	
	2007	144,9	9	170	
	2008	144,9	9	170	
	2009	146,3	10	173	
	2010	146,3	10	173	
Bruxelas	2003	43,3	3	58	0,898
	2004	43,3	3	58	
	2005	43,3	3	58	
	2006	43,8	3	59	
	2007	43,7	3	69	
	2008	43,7	3	69	
	2009	55,7	4	69	
	2010	55,7	4	69	
Budapeste	1996	30,8	3	40	0,867
	1997	30,8	3	40	

Sistema	Ano	Infraestruturas			Intersecções por 10 km de rede
Cidade	Ano	Extensão (km)	N.º Linhas	N.º Estações	
Budapeste	1998	30,8	3	40	0,867
	1999	30,8	3	40	
	2000	30,8	3	40	
	2001	31,4	3	40	
	2002	31,4	3	40	
	2003	31,4	3	40	
	2004	31,4	3	40	
	2005	31,4	3	40	
	2006	31,4	3	40	
	2007	31,4	3	40	
	2008	31,4	3	40	
	2009	34,6	3	40	
	2010	34,6	3	40	
Düsseldorf	2003	60,9	7	98	0,693
	2004	61,2	7	98	
	2005	61,2	7	99	
	2006	61,2	7	99	
	2007	141,5	7	99	
	2008	141,5	7	99	
	2009	141,5	7	99	
	2010	144,4	7	99	
	2011	144,4	7	99	
Essen	2000	24,3	3	32	1,379
	2001	29,8	3	41	
	2002	29,8	3	41	
	2003	29,8	3	41	
	2004	30,8	3	43	
	2005	30,8	3	43	
	2006	30,8	3	43	
	2007	29,0	3	35	
	2008	29,0	3	35	
	2009	29,0	3	35	
Frankfurt	2000	56,9	7	83	1,533
	2001	58,6	7	84	
	2002	58,6	7	84	
	2003	58,6	7	84	
	2004	58,6	7	84	
	2005	58,6	7	84	
	2006	58,6	7	84	
	2007	84,8	7	84	
	2008	86,7	7	84	
	2009	88,1	7	84	
	2010	110,9	9	86	

Sistema	Ano	Infraestruturas			Intersecções por 10 km de rede
		Extensão (km)	N.º Linhas	N.º Estações	
Glasgow	1997	10,4	1	15	0,000
	1998	10,4	1	15	
Hamburgo	2003	100,7	3	89	0,794
	2004	100,7	3	89	
	2005	100,7	3	89	
	2006	100,7	3	89	
	2007	100,7	3	89	
	2008	100,7	3	89	
	2009	100,7	3	89	
	2010	100,7	3	89	
	2001	21,1	2	16	
	2002	21,1	2	16	
Helsínquia	2003	21,1	2	16	0,948
	2004	21,1	2	16	
	2005	21,1	2	16	
	2006	21,1	2	16	
	2007	21,1	2	17	
	2008	21,1	2	17	
	2009	21,1	2	17	
	2010	21,1	2	17	
	2011	21,1	2	17	
Lisboa	1993	18,9	1	25	1,515
	1994	18,9	1	25	
	1995	18,9	1	25	
	1996	18,9	1	25	
	1997	20,6	2	28	
	1998	27,7	4	36	
	1999	27,7	4	36	
	2000	27,7	4	36	
	2001	27,7	4	36	
	2002	28,5	4	37	
	2003	28,5	4	37	
	2004	35,6	4	44	
	2005	35,6	4	44	
	2006	35,6	4	44	
	2007	35,6	4	46	
	2008	37,8	4	46	
	2009	39,6	4	52	
	2010	39,6	4	52	
	2011	39,6	4	52	

Sistema	Ano	Infraestruturas			Intersecções por 10 km de rede
		Extensão (km)	N.º Linhas	N.º Estações	
Londres	1994	413,8	12	291	0,796
	1995	413,8	12	291	
	1996	413,8	12	291	
	1997	413,8	12	291	
	1998	413,8	12	291	
	2002	434,0	12	300	
	2003	434,0	12	300	
	2004	434,0	12	300	
	2005	438,0	12	304	
	2006	437,0	12	303	
	2010	402,0	11	270	
	2011	402,0	11	270	
Madrid	1997	121,0	10	124	1,288
	1998	136,0	12	136	
	2000	171,4	12	201	
	2001	171,4	12	201	
	2002	178,9	17	205	
	2003	226,7	17	237	
	2004	226,7	17	237	
	2005	226,7	17	237	
	2006	227,4	17	243	
	2007	267,4	17	292	
	2008	284,0	17	294	
	2009	284,1	17	294	
Milão	1990	61,1	3	70	0,540
	1991	67,0	3	77	
	1992	67,8	3	78	
	1993	67,8	3	78	
	1994	68,7	3	79	
	1995	69,3	3	80	
	1996	69,3	3	80	
	1997	69,3	3	80	
	1998	69,3	3	80	
	1999	69,3	3	80	
	2000	69,3	3	80	
	2001	69,3	3	80	
	2002	69,3	3	80	
	2003	70,3	3	81	
	2004	70,3	3	81	
	2005	74,1	3	84	

Sistema	Ano	Infraestruturas			Intersecções por 10 km de rede
		Extensão (km)	N.º Linhas	N.º Estações	
Munique	2003	85,8	6	86	1,158
	2004	86,0	6	87	
	2005	86,0	6	87	
	2006	91,0	6	93	
	2007	93,0	6	93	
	2008	93,0	6	93	
	2009	93,0	6	93	
	2010	95,0	6	95	
Paris	1992	202,0	15	294	2,442
	1993	202,0	15	294	
	1994	202,0	15	294	
	1995	202,0	15	294	
	1996	202,0	15	294	
	1997	202,0	15	294	
	1998	210,6	16	297	
	1999	210,6	16	297	
	2000	210,6	16	297	
	2001	210,6	16	297	
	2002	210,6	16	297	
	2003	211,3	16	297	
	2004	211,3	16	297	
	2005	211,3	16	297	
	2006	211,3	16	297	
	2007	212,0	16	298	
	2008	217,0	16	300	
	2009	217,0	16	300	
	2010	217,0	16	300	
Porto	2003	11,8	1	18	0,900
	2004	15,6	1	23	
	2005	34,5	4	45	
	2006	58,9	5	69	
	2007	58,9	5	69	
	2008	59,6	5	70	
	2009	59,6	5	70	
	2010	66,2	5	80	
	2011	66,7	6	81	

Sistema	Ano	Infraestruturas			Intersecções por 10 km de rede
		Extensão (km)	N.º Linhas	N.º Estações	
Praga	2002	50,1	3	48	0,546
	2003	50,1	3	48	
	2004	54,0	3	50	
	2005	54,0	3	50	
	2006	54,9	3	51	
	2007	54,9	3	54	
	2008	54,9	3	57	
	2009	54,9	3	57	
	2010	54,9	3	57	
	2011	54,9	3	57	
Roma	2001	36,6	2	47	0,273
	2002	36,6	2	47	
	2003	36,6	2	48	
	2004	36,6	2	48	
	2005	36,6	2	48	
	2006	36,6	2	48	
	2007	36,6	2	48	
	2008	36,6	2	48	
	2009	36,6	2	48	
	2010	36,6	2	48	
Turim	2006	7,5	1	11	0,000
	2008	9,6	1	14	
	2009	9,6	1	14	
	2010	9,6	1	14	
	2011	13,2	1	21	

Sistema	Ano	Frota		Trabalhadores	Output	
		Comboios	Carruagens		Carruagens.km	Passageiros
Barcelona	1999	105	525	2.609	58.500	286.700
	2000	105	525	2.567	58.400	294.100
	2001	115	575	2.639	59.591	305.100
	2002	115	575	2.659	60.978	321.980
	2003	118	581	2.715	64.045	331.980
	2004	118	581	2.728	66.492	343.320
	2005	128	631	2.943	64.951	345.270
	2006	135	666	3.154	68.464	353.390
	2007	151	755	3.481	73.222	366.400
	2008	156	780	3.493	80.400	376.400
	2009	160	800	3.703	79.000	361.650
	2010	165	825	3.764	87.600	381.200
Berlim	2011	165	825	3.723	90.585	388.980
	2002	770	1.540	6.553	136.000	
	2003	728	1.456	6.308	129.800	
	2004	686	1.372	5.985	123.700	
	2005	644	1.288	5.643	122.600	
	2006	637	1.274	5.534	122.200	466.400
	2007	656	1.312	5.584	119.400	473.100
	2008	634	1.268	5.562		446.500
	2009	632	1.264	5.366		508.900
	2010	622	1.243	5.344		495.900
Bruxelas	2003	90	217	917		102.500
	2004	90	217	939		105.500
	2005	90	217	940	11.522	114.500
	2006	90	217	956	11.531	122.500
	2007	96	223	969		128.300
	2008	105	232	976		135.500
	2009	60	307	1.010		133.400
	2010	60	307	1.011		150.800
Budapeste	1996	82	410	5.973	31.198	274.744
	1997	82	410	5.236	30.741	314.687

Sistema	Ano	Frota			Output	
		Comboios	Carruagens	Trabalhadores	Carruagens.km	Passageiros
Budapeste	1998	82	410	4.893	30.595	311.700
	1999	82	410	4.687	30.172	316.197
	2000	81	403	4.483	30.090	323.367
	2001	81	403	4.299	30.073	323.026
	2002	81	403	4.285	30.362	317.911
	2003	81	403	4.340	30.359	315.046
	2004	81	403	4.483		298.000
	2005	78	392	4.484		286.000
	2006	78	392	4.585		280.128
	2007	78	392	4.403		282.000
	2008	74	369	4.151	29.037	269.765
	2009	74	369	4.178	29.287	260.679
	2010	74	368	4.210	29.158	273.263
Düsseldorf	2003	128	384	2.101		
	2004	128	384	2.043		
	2005	128	384	1.968		
	2006	131	393	1.904		
	2007	135	437	1.843		
	2008	135	437	1.850		
	2009	135	437	1.826	9.815	
	2010	135	437	1.820	9.691	
	2011	135	437	1.839	10.292	
Essen	2000	45	90	940	2.088	
	2001	45	90	898	2.286	
	2002	45	90	861	3.389	
	2003	43	86	853	3.290	
	2004	45	90	833	3.436	
	2005	45	90	811	3.421	
	2006	45	90	806	3.342	
	2007	45	90	789	3.365	
	2008	45	90	773		
	2009	45	90	760		
Frankfurt	2000	224	448	2.359		94.322
	2001	224	448	2.260		100.052
	2002	224	448	2.139		97.281
	2003	224	448	2.070		95.364
	2004	224	448	2.063		95.431
	2005	224	448	2.011		95.075
	2006	224	448	1.959		98.011
	2007	223	446	1.876		109.400
	2008	233	466	1.809		112.100
	2009	252	504	1.757		114.000
	2010	248	496	1.813		115.700

Sistema	Ano	Frota			Output	
		Comboios	Carruagens	Trabalhadores	Carruagens.km	Passageiros
Glasgow	1997	14	41	326	3.390	14.120
	1998	14	41	326	3.390	14.600
Hamburgo	2003	261	809	3.047	71.627	175.596
	2004	258	825	3.001	71.662	175.334
	2005	215	751	2.999	72.836	176.715
	2006	214	749	3.035	74.545	179.796
	2007	214	749	3.039	72.892	184.448
	2008	214	749	3.052	75.101	189.223
	2009	214	749	3.050	78.731	201.111
	2010	214	749	3.073	84.239	205.908
	2011	214	749	3.073	84.239	205.908
Helsínquia	2001	54	108	169		52.800
	2002	54	108	169		54.900
	2003	54	108	186		55.400
	2004	54	108	216		55.400
	2005	54	108	218		56.000
	2006	54	108	225		56.800
	2007	54	108	225		56.200
	2008	54	108	238		57.600
	2009	54	108	238		57.300
	2010	54	108	240		57.100
	2011	54	108	256		61.500
Lisboa	1993	43	142	1.947	10.010	146.700
	1994	43	142	1.947	10.370	136.200
	1995	53	169	1.926	10.470	123.900
	1996	61	193	1.977	10.910	128.000
	1997	74	235	2.023	10.920	110.800
	1998	96	307	1.902	15.090	161.100
	1999	113	361	1.933	17.210	166.400
	2000	92	293	1.963	18.570	173.786
	2001	108	347	1.898	18.360	178.499
	2002	106	339	1.797	19.430	180.352
	2003	106	338	1.725	19.436	176.128
	2004	106	338	1.699	22.345	179.650
	2005	106	338	1.682	23.104	185.444
	2006	106	338	1.705	22.865	183.975
	2007	113	338	1.648	22.590	179.700
	2008	113	338	1.569	23.480	178.400
	2009	113	338	1.636	25.280	176.700
	2010	113	338	1.672	27.650	128.800
	2011	113	338	1.672		

Sistema	Ano	Frota		Trabalhadores	Output	
		Comboios	Carruagens		Carruagens.km	Passageiros
Londres	1994	548	3.838	15.628	395.500	775.500
	1995	567	3.967	14.844	413.000	798.500
	1996	585	4.096	14.948	429.100	788.700
	1997	604	4.225	13.383	450.800	853.400
	1998	577	3.938	13.878	435.071	893.600
	2002	597	4.077	13.134	468.791	987.900
	2003	597	4.077	13.946	485.306	996.090
	2004	597	4.077	14.279	497.081	1.025.982
	2005	610	4.164	14.611	492.443	1.024.000
	2006	610	4.164	15.063	506.103	1.075.300
	2010	570	3.891	17.944	502.600	1.065.000
	2011	570	3.891	17.239	504.700	1.107.000
Madrid	1997	236	1.094	4.645	91.314	422.700
	1998	250	1.214	4.599	98.159	437.000
	2000	268	1.338	5.332	118.320	525.030
	2001	268	1.338	5.323	123.190	543.920
	2002	281	1.403	5.413	125.750	565.010
	2003	303	1.514	5.486	148.580	601.800
	2004	310	1.550	5.713	154.900	615.530
	2005	315	1.574	5.674	155.430	644.050
	2006	365	1.823	5.973	151.030	657.440
	2007	431	2.157	7.154	185.710	687.710
	2008	455	2.275	7.598	202.440	685.540
	2009	456	2.281	6.987	200.920	649.980
	2010	474	2.369	6.954	198.860	
Milão	1990	212	636	4.993	40.319	280.742
	1991	221	662	4.935	45.052	291.842
	1992	228	684	4.765	49.714	307.261
	1993	234	702	4.603	50.390	303.348
	1994	238	714	4.365	50.903	299.405
	1995	238	714	4.140	51.105	296.695
	1996	238	714	4.146	52.549	300.256
	1997	238	714	3.860	52.713	294.346
	1998	238	714	3.764	52.192	292.523
	1999	238	714	3.701	52.789	297.381
	2000	238	714	3.657	52.968	311.441
	2001	238	714	3.600	53.755	315.209
	2002	238	714	3.637	53.732	312.850
	2003	240	720	3.652	53.717	313.728
	2004	242	726	3.614	54.437	310.786
	2005	243	729	3.647	55.926	315.192

Sistema	Ano	Frota		Trabalhadores	Output	
		Comboios	Carruagens		Carruagens.km	Passageiros
Munique	2003	196	588	2.501	9.964	
	2004	196	588	2.501	10.033	
	2005	196	588	2.501	9.845	
	2006	196	588	2.305	9.861	330.000
	2007	194	582	2.382	10.183	
	2008	194	582	2.431	10.442	
	2009	194	582	2.430	10.536	
	2010	192	576	2.296	10.486	360.000
Paris	1992	678	3.460	11.907	199.800	1.201.400
	1993	680	3.469	11.909	200.600	1.177.800
	1994	668	3.412	11.897	199.500	1.169.900
	1995	667	3.405	12.008	185.700	1.029.100
	1996	659	3.364	11.992	200.300	1.091.600
	1997	676	3.453	11.845	199.400	1.115.900
	1998	700	3.569	12.068	203.100	1.156.600
	1999	700	3.569	12.010	212.200	1.190.200
	2000	697	3.555	12.026	213.900	1.247.100
	2001	697	3.548	12.042	212.600	1.266.100
	2002	697	3.557	12.058	212.600	1.283.000
	2003	697	3.553	12.074	217.700	1.248.000
	2004	697	3.553	12.090	226.000	1.336.000
	2005	697	3.553	12.106	223.934	1.354.000
	2006	697	3.553	12.122	224.903	1.406.000
	2007	697	3.553	12.138		1.387.000
	2008	689	3.511	12.155		1.472.500
	2009	689	3.511	12.171	246.700	1.479.000
	2010	689	3.511	12.187	243.700	1.506.000
Porto	2003	18	54	242	4.029	5.960
	2004	26	78	284	5.823	9.843
	2005	34	102	359	10.194	18.481
	2006	66	198	401	19.686	38.637
	2007	72	216	407	20.922	48.167
	2008	72	216	418	19.440	51.481
	2009	72	216	409	19.416	52.600
	2010	95	285	415	19.386	53.547
	2011	102	306	407	20.142	55.737

Sistema	Ano	Frota		Trabalhadores	Output	
		Comboios	Carruagens		Carruagens.km	Passageiros
Praga	2002	123	616	4.491	35.581	416.516
	2003	132	660	4.507	40.181	458.642
	2004	143	715	4.454	44.666	496.013
	2005	146	730	4.387	46.598	515.098
	2006	149	744	4.368	46.967	531.239
	2007	149	744	4.121	47.105	537.266
	2008	144	720	3.993	52.770	596.893
	2009	144	720	3.833	52.748	584.880
	2010	142	711	3.095	53.341	578.515
Roma	2001	72	438	2.442	31.131	270.232
	2002	72	438	2.468	31.314	271.904
	2003	72	438	2.570	31.870	279.215
	2004	75	456	2.479	31.500	264.587
	2005	79	474	2.470	31.240	267.403
	2006	73	438	2.569	32.074	287.288
	2007	74	444	2.594	33.801	318.379
	2008	75	450	2.658	36.679	331.487
	2009	85	510	2.645	37.574	335.984
	2010	90	540	2.671	37.189	345.000
Turim	2006	38	76	125	4.600	9.000
	2008	46	92	140	8.100	
	2009	58	116	160	8.600	
	2010	58	116	160	8.220	
	2011	58	116	180	11.000	

Sistema	Ano	Barreiras	Concorrência		Variáveis externas	
			Metro	Tram	Área (km2)	População
Barcelona	1999	1	1	0	7.729	3.921.587
	2000	1	1	0	7.729	3.945.911
	2001	1	1	0	7.729	3.987.983
	2002	1	1	0	7.729	4.110.811
	2003	1	1	0	7.729	4.172.224
	2004	1	1	1	7.729	4.233.638
	2005	1	1	1	7.729	4.285.386
	2006	1	1	1	7.728	4.337.134
	2007	1	1	1	7.728	4.388.881
	2008	1	1	1	7.728	4.440.629
	2009	1	1	1	7.728	4.494.065
	2010	1	1	1	7.728	4.509.838
Berlim	2011	1	1	1	7.728	4.525.911
	2002	0	0	1	17.404	4.962.800
	2003	0	0	1	17.405	4.967.066
	2004	0	0	1	17.384	4.971.331
	2005	0	0	1	17.385	4.984.816
	2006	0	0	1	17.385	4.998.302
	2007	0	0	1	17.385	5.011.787
	2008	0	0	1	17.385	5.025.272
	2009	0	0	1	17.385	5.040.194
	2010	0	0	1	17.388	5.055.116
Bruxelas	2003	1	0	1	5.196	1.783.885
	2004	1	0	1	5.196	1.800.663
	2005	1	0	1	5.196	1.821.827
	2006	1	0	1	5.195	1.842.991
	2007	1	0	1	5.195	1.864.155
	2008	1	0	1	5.195	1.885.319
	2009	1	0	1	5.195	1.900.557
	2010	1	0	1	5.196	1.915.903
Budapeste	1996	0	0	1	6.918	2.502.069
	1997	0	0	1	6.918	2.492.318

Sistema	Ano	Barreiras	Concorrência		Variáveis externas	
			Metro	Tram	Área (km2)	População
Budapeste	1998	0	0	1	6.918	2.482.567
	1999	0	0	1	6.918	2.472.817
	2000	0	0	1	6.918	2.463.066
	2001	0	0	1	6.919	2.453.315
	2002	0	0	1	6.919	2.445.444
	2003	0	0	1	6.919	2.437.573
	2004	0	0	1	6.918	2.429.702
	2005	0	0	1	6.918	2.421.831
	2006	0	0	1	6.918	2.439.800
	2007	0	0	1	6.918	2.457.768
	2008	0	0	1	6.916	2.475.737
	2009	0	0	1	6.916	2.493.568
	2010	0	0	1	6.916	2.511.400
Düsseldorf	2003	0	0	1	6.276	1.526.056
	2004	0	0	1	6.276	1.525.029
	2005	0	0	1	6.276	1.525.526
	2006	0	0	1	6.276	1.526.024
	2007	0	0	1	6.276	1.526.521
	2008	0	0	1	6.276	1.527.018
	2009	0	0	1	6.276	1.527.097
	2010	0	0	1	6.276	1.527.176
	2011	0	0	1	6.277	1.526.230
Essen	2000	0	0	1	210	595.877
	2001	0	0	1	210	591.889
	2002	0	0	1	210	590.621
	2003	0	0	1	210	589.352
	2004	0	0	1	210	588.084
	2005	0	0	1	210	586.003
	2006	0	0	1	210	583.922
	2007	0	0	1	210	581.840
	2008	0	0	1	210	579.759
	2009	0	0	1	210	578.051
Frankfurt	2000	0	0	1	6.863	2.494.958
	2001	0	0	1	6.863	2.502.398
	2002	0	0	1	6.863	2.509.839
	2003	0	0	1	6.863	2.513.700
	2004	0	0	1	6.863	2.517.561
	2005	0	0	1	6.863	2.521.163
	2006	0	0	1	6.863	2.524.766
	2007	0	0	1	6.863	2.528.368
	2008	0	0	1	6.863	2.531.970
	2009	0	0	1	6.863	2.542.545
	2010	0	0	1	6.863	2.553.119

Sistema	Ano	Barreiras	Concorrência		Variáveis externas	
			Metro	Tram	Área (km2)	População
Glasgow	1997	1	0	0	3.701	1.774.935
	1998	1	0	0	3.701	1.768.490
Hamburgo	2003	0	0	0	7.304	3.124.731
	2004	0	0	0	7.304	3.134.620
	2005	0	0	0	7.304	3.147.800
	2006	0	0	0	7.304	3.160.979
	2007	0	0	0	7.304	3.174.159
	2008	0	0	0	7.304	3.187.338
	2009	0	0	0	7.304	3.198.549
	2010	0	0	0	7.304	3.209.759
	2001	0	0	1	9.590	1.213.743
	2002	0	0	1	9.590	1.220.428
Helsínquia	2003	0	0	1	9.590	1.227.113
	2004	0	0	1	9.590	1.233.797
	2005	0	0	1	9.590	1.240.482
	2006	0	0	1	9.596	1.253.550
	2007	0	0	1	9.595	1.266.617
	2008	0	0	1	9.595	1.279.685
	2009	0	0	1	9.594	1.285.391
	2010	0	0	1	9.569	1.291.655
	2011	0	0	1	9.568	1.297.745
Lisboa	1993	0	0	0	2.846	2.293.226
	1994	0	0	0	2.846	2.306.739
	1995	0	0	1	2.846	2.320.251
	1996	0	0	1	2.846	2.333.763
	1997	0	0	1	2.860	2.339.704
	1998	0	0	1	2.998	2.345.646
	1999	0	0	1	2.998	2.351.587
	2000	0	0	1	2.998	2.357.529
	2001	0	0	1	2.860	2.363.470
	2002	0	0	1	2.865	2.387.592
	2003	1	0	1	2.865	2.411.715
	2004	1	0	1	2.901	2.435.837
	2005	1	0	1	2.935	2.443.749
	2006	1	0	1	2.935	2.451.661
	2007	1	1	1	2.935	2.459.572
	2008	1	1	1	2.935	2.467.484
	2009	1	1	1	2.940	2.471.368
	2010	1	1	1	3.002	2.475.252
	2011	1	1	1	3.002	2.475.081

Sistema	Ano	Barreiras	Concorrência		Variáveis externas	
			Metro	Tram	Área (km2)	População
Londres	1994	1	1	0	15.446	11.197.360
	1995	1	1	0	15.446	11.226.680
	1996	1	1	0	15.446	11.256.000
	1997	1	1	0	15.446	11.329.761
	1998	1	1	0	15.446	11.403.523
	2002	1	1	1	15.446	11.718.371
	2003	1	1	1	15.446	11.811.936
	2004	1	1	1	15.419	11.905.500
	2005	1	1	1	15.438	12.008.575
	2006	1	1	1	15.438	12.111.650
	2010	1	1	1	15.438	12.485.886
	2011	1	1	1	15.438	12.568.166
Madrid	1997	1	0	0	8.028	5.102.508
	1998	1	0	0	8.028	5.182.727
	2000	1	0	0	8.028	5.343.165
	2001	1	0	0	8.028	5.423.384
	2002	1	0	0	8.028	5.550.532
	2003	1	0	0	8.028	5.677.681
	2004	1	0	0	8.028	5.804.829
	2005	1	0	1	8.028	5.921.531
	2006	1	0	1	8.028	6.038.234
	2007	1	0	1	8.028	6.154.936
	2008	1	0	1	8.028	6.271.638
	2009	1	0	1	8.028	6.347.107
Milão	2010	1	0	1	8.028	6.369.384
	1990	1	0	1	13.096	2.961.840
	1991	1	0	1	13.096	2.964.440
	1992	1	0	1	13.096	2.965.945
	1993	1	0	1	13.092	2.968.469
	1994	1	0	1	13.105	2.969.574
	1995	1	0	1	13.094	2.969.679
	1996	1	0	1	13.094	2.969.668
	1997	1	0	1	13.094	2.971.349
	1998	1	0	1	13.094	2.972.812
	1999	1	0	1	13.094	2.973.059
	2000	1	0	1	13.096	2.973.812
	2001	1	0	1	13.096	2.975.754
	2002	1	0	1	13.095	2.991.967
	2003	1	0	1	13.095	3.008.181
	2004	1	0	1	13.095	3.024.394
	2005	1	0	1	13.095	3.047.144

Sistema	Ano	Barreiras	Concorrência		Variáveis externas	
			Metro	Tram	Área (km2)	População
Munique	2003	0	0	1	6.615	2.516.650
	2004	0	0	1	6.615	2.531.706
	2005	0	0	1	6.615	2.559.981
	2006	0	0	1	6.615	2.588.257
	2007	0	0	1	6.615	2.616.532
	2008	0	0	1	6.615	2.644.807
	2009	0	0	1	6.615	2.637.875
	2010	0	0	1	6.614	2.686.780
Paris	1992	1	1	1	12.012	10.669.159
	1993	1	1	1	12.012	10.720.330
	1994	1	1	1	12.012	10.760.089
	1995	1	1	1	12.012	10.798.469
	1996	1	1	1	12.012	10.836.183
	1997	1	1	1	12.012	10.873.338
	1998	1	1	1	12.012	10.911.295
	1999	1	1	1	12.012	10.952.011
	2000	1	1	1	12.012	11.034.925
	2001	1	1	1	12.012	11.117.839
	2002	1	1	1	12.012	11.200.753
	2003	1	1	1	12.012	11.283.667
	2004	1	1	1	12.012	11.366.581
	2005	1	1	1	12.012	11.449.495
	2006	1	1	1	12.012	11.532.409
	2007	1	1	1	12.012	11.608.179
	2008	1	1	1	12.012	11.674.227
	2009	1	1	1	12.012	11.736.793
	2010	1	1	1	12.012	11.799.584
Porto	2003	0	0	0	815	1.095.733
	2004	0	0	0	815	1.099.040
	2005	0	0	0	814	1.101.778
	2006	0	0	0	815	1.104.515
	2007	0	0	0	815	1.107.253
	2008	0	0	0	815	1.109.990
	2009	0	0	0	814	1.111.001
	2010	0	0	0	815	1.112.995
	2011	0	0	0	815	1.112.918

Sistema	Ano	Barreiras	Concorrência		Variáveis externas	
			Metro	Tram	Área (km2)	População
Praga	2002	0	0	1	11.510	1.949.452
	2003	0	0	1	11.512	1.957.101
	2004	0	0	1	11.511	1.964.750
	2005	0	0	1	11.511	1.998.383
	2006	0	0	1	11.511	2.032.016
	2007	0	0	1	11.511	2.065.649
	2008	0	0	1	11.511	2.099.282
	2009	0	0	1	11.511	2.118.220
	2010	0	0	1	11.511	2.137.159
Roma	2001	1	0	1	5.352	3.374.511
	2002	1	0	1	5.381	3.389.436
	2003	1	0	1	5.381	3.404.362
	2004	1	0	1	5.381	3.419.287
	2005	1	0	1	5.381	3.488.252
	2006	1	0	1	5.381	3.557.218
	2007	1	0	1	5.381	3.626.183
	2008	1	0	1	5.381	3.695.148
	2009	1	0	1	5.381	3.721.537
Turim	2010	1	0	1	5.381	3.739.837
	2006	1	0	1	6.830	1.738.544
	2008	1	0	1	6.830	1.773.747
	2009	1	0	1	6.830	1.786.414
	2010	1	0	1	6.830	1.795.199
	2011	1	0	1	6.830	1.803.711

Sistema	Ano	Variáveis externas			
		Dependência demográfica (%)	Dim. Média agregado fam.	Taxa desemprego (%)	Densidade populacional
Barcelona	1999	54,99%	3,24	14,70%	511
	2000	54,99%	3,19	12,70%	516
	2001	54,76%	3,14	10,60%	532
	2002	54,64%	3,09	12,40%	540
	2003	54,40%	3,04	12,30%	540
	2004	54,40%	2,99	12,00%	548
	2005	54,45%	2,94	10,75%	554
	2006	54,50%	2,89	9,50%	561
	2007	54,55%	2,84	8,25%	568
	2008	54,60%	2,79	7,00%	575
	2009	55,08%	2,74	11,15%	582
	2010	56,04%	2,69	12,45%	584
Berlim	2011	57,01%	2,64	13,44%	586
	2002	52,90%	1,93	15,90%	285
	2003	53,30%	1,92	17,10%	285
	2004	53,70%	1,90	18,30%	286
	2005	54,28%	1,89	17,08%	287
	2006	54,85%	1,88	15,85%	288
	2007	55,43%	1,86	14,63%	288
	2008	56,00%	1,85	13,40%	289
	2009	56,44%	1,82	13,94%	290
Bruxelas	2010	56,77%	1,80	12,69%	291
	2003	67,03%	2,31	11,39%	343
	2004	66,80%	2,36	11,40%	1.116
	2005	66,63%	2,32	16,60%	1.127
	2006	66,45%	2,28	17,90%	1.137
	2007	66,28%	2,24	16,17%	1.148
	2008	66,10%	2,20	15,10%	1.159
	2009	66,10%	2,28	17,04%	366
Budapeste	2010	66,49%	2,25	17,90%	369
	1996	64,70%	3,00	9,50%	981
	1997	63,08%	2,89	8,90%	978

Sistema	Ano	Variáveis externas			
		Dependência demográfica (%)	Dim. Média agregado fam.	Taxa desemprego (%)	Densidade populacional
Budapeste	1998	61,46%	2,78	8,30%	975
	1999	59,84%	2,68	7,70%	972
	2000	58,22%	2,57	7,10%	970
	2001	56,60%	2,46	6,50%	967
	2002	56,30%	2,45	5,55%	353
	2003	56,00%	2,44	4,60%	352
	2004	55,70%	2,43	3,65%	351
	2005	55,40%	2,42	2,70%	350
	2006	55,57%	2,24	2,81%	353
	2007	55,73%	2,17	2,78%	355
	2008	55,90%	2,11	2,93%	358
	2009	56,13%	2,04	3,75%	361
Düsseldorf	2010	56,37%	1,97	4,20%	363
	2003	60,80%	2,03	7,33%	1.269
	2004	62,00%	2,02	8,40%	1.270
	2005	62,70%	2,02	8,02%	1.270
	2006	63,40%	2,02	7,65%	1.271
	2007	64,10%	2,01	7,27%	1.271
	2008	64,80%	2,01	6,90%	1.272
	2009	65,31%	1,95	7,18%	243
Essen	2010	65,69%	1,94	6,53%	243
	2011	65,31%	1,94	5,43%	243
	2000	63,28%	1,96	7,96%	2.833
	2001	63,90%	1,95	7,70%	2.814
	2002	64,70%	1,96	9,13%	2.809
	2003	65,50%	1,96	10,57%	2.805
	2004	66,30%	1,97	12,00%	2.800
	2005	66,53%	1,95	11,75%	2.789
	2006	66,75%	1,93	11,50%	2.779
	2007	66,98%	1,91	11,25%	2.768
Frankfurt	2008	67,20%	1,89	11,00%	2.757
	2009	66,80%	1,91	11,44%	2.747
	2000	55,00%	2,10	5,16%	579
	2001	55,93%	2,07	4,70%	581
	2002	56,85%	2,07	5,73%	582
	2003	57,78%	2,08	6,77%	583
	2004	58,70%	2,08	7,80%	585
	2005	59,47%	2,07	7,48%	586
	2006	60,25%	2,06	7,15%	586
	2007	61,03%	2,05	6,83%	587
	2008	61,80%	2,04	6,50%	588
	2009	62,28%	1,95	6,76%	370
	2010	62,65%	1,95	6,15%	372

Sistema	Ano	Variáveis externas			
		Dependência demográfica (%)	Dim. Média agregado fam.	Taxa desemprego (%)	Densidade populacional
Glasgow	1997	67,84%	2,21	13,00%	480
	1998	67,58%	2,18	12,10%	478
Hamburgo	2003	58,88%	2,00	8,57%	427
	2004	59,80%	2,00	9,60%	429
	2005	60,43%	2,00	8,77%	431
	2006	61,05%	1,99	7,95%	433
	2007	61,68%	1,99	7,13%	435
	2008	62,30%	1,98	6,30%	436
	2009	62,79%	1,95	6,55%	438
	2010	63,15%	1,94	5,96%	439
	2001	53,90%	2,09	7,40%	407
	2002	54,03%	2,09	7,67%	410
Helsínquia	2003	54,17%	2,09	7,93%	412
	2004	54,30%	2,09	8,20%	415
	2005	54,53%	2,09	7,55%	418
	2006	54,75%	2,09	6,90%	131
	2007	54,98%	2,10	6,25%	132
	2008	55,20%	2,18	5,60%	133
	2009	55,54%	2,18	7,18%	134
	2010	55,99%	2,18	7,35%	135
	2011	56,56%	2,18	6,83%	136
Lisboa	1993	61,38%	2,59	6,86%	1.638
	1994	60,77%	2,60	6,84%	1.648
	1995	60,16%	2,61	6,82%	1.658
	1996	59,55%	2,62	6,80%	1.667
	1997	58,94%	2,63	6,78%	1.654
	1998	58,33%	2,64	6,76%	1.641
	1999	57,72%	2,65	6,74%	1.628
	2000	57,11%	2,66	6,72%	1.615
	2001	56,50%	2,61	6,70%	1.602
	2002	56,93%	2,60	8,40%	1.635
	2003	57,37%	2,58	9,70%	1.668
	2004	57,80%	2,57	8,70%	1.702
	2005	58,72%	2,56	10,10%	1.696
	2006	59,65%	2,54	10,10%	1.690
	2007	60,58%	2,54	10,45%	1.684
	2008	61,50%	2,54	9,98%	1.679
	2009	61,88%	2,53	12,45%	841
	2010	62,38%	2,53	14,09%	825
	2011	63,02%	2,53	15,15%	825

Sistema	Ano	Variáveis externas			
		Dependência demográfica (%)	Dim. Média agregado fam.	Taxa desemprego (%)	Densidade populacional
Londres	1994	64,58%	2,54	10,00%	725
	1995	64,74%	2,51	9,00%	727
	1996	64,90%	2,49	8,50%	729
	1997	64,44%	2,46	7,40%	734
	1998	63,98%	2,44	6,50%	738
	2002	62,07%	2,44	5,40%	1.327
	2003	61,53%	2,45	5,60%	765
	2004	61,00%	2,37	5,80%	772
	2005	60,63%	2,38	5,88%	778
	2006	60,25%	2,34	5,95%	785
	2010	60,20%	2,30	8,59%	809
	2011	60,56%	2,28	8,81%	814
Madrid	1997	57,44%	3,03	19,88%	636
	1998	56,48%	2,99	17,96%	646
	2000	54,55%	2,92	14,12%	666
	2001	53,59%	2,88	12,67%	676
	2002	52,63%	2,88	13,76%	692
	2003	51,66%	2,88	13,76%	708
	2004	50,70%	2,88	13,15%	724
	2005	50,78%	2,83	11,10%	738
	2006	50,85%	2,83	10,26%	753
	2007	50,93%	2,80	10,02%	767
	2008	51,00%	2,78	13,64%	782
	2009	51,45%	2,76	21,72%	791
Milão	2010	52,35%	2,74	24,26%	793
	1990	51,49%	2,55	5,70%	226
	1991	51,15%	2,55	6,00%	226
	1992	50,03%	2,55	5,20%	226
	1993	50,26%	2,56	6,10%	227
	1994	50,48%	2,56	7,00%	227
	1995	50,93%	2,52	7,60%	227
	1996	51,49%	2,49	7,80%	227
	1997	52,05%	2,45	7,30%	227
	1998	52,61%	2,41	6,80%	227
	1999	53,06%	2,38	6,30%	227
	2000	53,73%	2,36	5,80%	227
	2001	54,40%	2,34	5,40%	227
	2002	55,27%	2,30	5,10%	228
	2003	56,13%	2,25	4,80%	2.211
	2004	57,00%	2,21	4,50%	2.231
	2005	58,30%	2,20	4,20%	2.251

Sistema	Ano	Variáveis externas			
		Dependência demográfica (%)	Dim. Média agregado fam.	Taxa desemprego (%)	Densidade populacional
Munique	2003	54,43%	1,99	5,00%	456
	2004	55,30%	1,98	6,00%	460
	2005	56,00%	1,98	5,63%	465
	2006	56,70%	1,98	5,25%	470
	2007	57,40%	1,98	4,88%	475
	2008	58,10%	1,98	4,50%	481
	2009	58,55%	1,88	4,68%	399
	2010	58,90%	1,88	4,26%	406
Paris	1992	59,78%	2,47	11,70%	888
	1993	60,00%	2,45	12,80%	892
	1994	60,23%	2,43	14,10%	896
	1995	60,46%	2,42	13,30%	899
	1996	60,57%	2,41	13,90%	902
	1997	60,57%	2,41	14,10%	905
	1998	60,69%	2,40	13,60%	908
	1999	60,80%	2,39	10,40%	912
	2000	60,99%	2,38	10,49%	919
	2001	61,17%	2,38	10,57%	926
	2002	61,36%	2,37	10,66%	932
	2003	61,54%	2,37	10,74%	939
	2004	61,73%	2,36	10,83%	946
	2005	61,91%	2,36	10,91%	953
	2006	62,10%	2,34	11,00%	960
	2007	61,98%	2,34	10,04%	966
	2008	62,10%	2,33	9,33%	972
	2009	62,45%	2,32	11,36%	977
	2010	62,80%	2,32	11,72%	982
Porto	2003	55,93%	2,76	11,10%	1.948
	2004	55,80%	2,74	12,90%	1.955
	2005	56,10%	2,73	13,90%	1.960
	2006	56,40%	2,78	13,60%	1.965
	2007	56,70%	2,77	14,07%	1.970
	2008	57,00%	2,76	13,44%	1.975
	2009	57,35%	2,74	16,76%	1.365
	2010	57,82%	2,73	18,98%	1.366
	2011	58,40%	2,72	20,40%	1.366

Sistema	Ano	Variáveis externas			
		Dependência demográfica (%)	Dim. Média agregado fam.	Taxa desemprego (%)	Densidade populacional
Praga	2002	54,93%	2,52	5,03%	279
	2003	53,67%	2,46	4,87%	280
	2004	52,40%	2,40	4,70%	281
	2005	52,10%	2,34	4,80%	286
	2006	51,80%	2,44	4,10%	291
	2007	51,50%	2,43	3,02%	296
	2008	51,20%	2,42	2,51%	301
	2009	51,73%	2,42	3,82%	184
	2010	52,27%	2,41	4,16%	186
	2011	52,27%	2,41	4,16%	186
Roma	2001	56,60%	2,48	12,10%	631
	2002	57,17%	2,47	10,85%	630
	2003	57,73%	2,45	9,60%	925
	2004	58,30%	2,44	8,35%	942
	2005	59,38%	2,44	7,10%	958
	2006	60,45%	2,44	7,03%	975
	2007	61,53%	2,44	6,97%	991
	2008	62,60%	2,44	6,90%	1.008
	2009	62,84%	2,42	8,03%	692
	2010	63,21%	2,41	8,65%	695
Turim	2006	60,85%	2,21	5,27%	926
	2008	62,70%	2,19	5,80%	944
	2009	62,94%	2,18	6,75%	262
	2010	63,31%	2,17	7,27%	263
	2011	63,43%	2,16	7,27%	264

Sistema	Ano	Variáveis externas		
		Taxa de motorização	Nº mortos acid. Rodov. Por 1000 hab.	PIB <i>per capita</i>
Barcelona	1999	403	0,39	17.682,33 €
	2000	413	0,39	18.898,92 €
	2001	423	0,37	19.332,05 €
	2002	434	0,36	19.348,57 €
	2003	444	0,36	19.555,03 €
	2004	454	0,32	19.783,86 €
	2005	414	0,30	20.189,04 €
	2006	415	0,27	20.632,29 €
	2007	415	0,23	21.728,39 €
	2008	416	0,20	21.506,82 €
	2009	408	0,17	19.772,70 €
Berlim	2010	419	0,14	19.672,16 €
	2011	418	0,12	19.833,81 €
	2002	384	0,59	20.785,39 €
	2003	387	0,57	20.480,50 €
	2004	383	0,50	20.377,14 €
	2005	374	0,48	20.608,56 €
	2006	365	0,45	21.300,68 €
	2007	357	0,42	21.969,80 €
Bruxelas	2008	348	0,40	22.498,34 €
	2009	352	0,37	22.392,84 €
	2010	301	0,34	23.352,19 €
	2003	581	0,70	31.323,04 €
	2004	533	0,60	32.121,28 €
	2005	536	0,58	32.452,76 €
	2006	539	0,55	33.010,75 €
	2007	541	0,52	34.019,26 €
Budapeste	2008	544	0,50	34.249,74 €
	2009	546	0,51	32.539,16 €
	2010	535	0,51	33.004,48 €
Budapeste	1996	289	1,00	10.737,42 €
	1997	295	1,01	10.399,45 €

Sistema	Ano	Variáveis externas		
		Taxa de motorização	Nº mortos acid. rodov. por 1000 hab.	PIB <i>per capita</i>
Budapeste	1998	301	1,00	9.564,38 €
	1999	308	0,95	9.738,83 €
	2000	314	0,87	10.169,60 €
	2001	320	0,90	10.803,14 €
	2002	329	0,87	12.451,41 €
	2003	339	0,85	12.083,67 €
	2004	348	0,82	12.875,83 €
	2005	357	0,80	14.247,35 €
	2006	359	0,73	14.273,16 €
	2007	361	0,67	11.008,45 €
	2008	362	0,60	11.106,68 €
	2009	377	0,50	9.318,14 €
Düsseldorf	2010	384	0,41	9.684,42 €
	2003	461	0,34	25.574,77 €
	2004	464	0,30	26.145,52 €
	2005	454	0,30	26.309,05 €
	2006	444	0,30	26.832,06 €
	2007	434	0,30	28.302,46 €
	2008	424	0,30	29.383,32 €
	2009	429	0,28	27.735,75 €
	2010	386	0,26	28.924,00 €
Essen	2011	382	0,24	29.101,38 €
	2000	421	0,22	25.314,20 €
	2001	424	0,20	25.709,78 €
	2002	424	0,20	25.636,92 €
	2003	424	0,20	25.574,77 €
	2004	425	0,20	26.145,52 €
	2005	415	0,20	26.309,05 €
	2006	405	0,20	26.832,06 €
	2007	396	0,20	28.302,46 €
	2008	386	0,20	29.383,32 €
Frankfurt	2009	390	0,19	27.735,75 €
	2000	466	0,64	35.224,50 €
	2001	470	0,60	36.078,95 €
	2002	473	0,59	35.602,34 €
	2003	477	0,57	35.930,86 €
	2004	481	0,50	35.934,48 €
	2005	471	0,48	36.165,35 €
	2006	462	0,45	37.255,46 €
	2007	453	0,42	37.970,43 €
	2008	443	0,40	38.325,09 €
	2009	448	0,37	37.021,55 €
	2010	448	0,34	38.607,62 €

Sistema	Ano	Variáveis externas		
		Taxa de motorização	Nº mortos acid. Rodov. Por 1000 hab.	PIB <i>per capita</i>
Glasgow	1997	269	0,44	26.741,55 €
	1998	279	0,43	27.460,56 €
Hamburgo	2003	440	0,57	33.111,22 €
	2004	442	0,50	33.225,14 €
	2005	431	0,48	33.757,60 €
	2006	420	0,45	34.050,29 €
	2007	409	0,42	34.427,07 €
	2008	397	0,40	34.961,65 €
	2009	402	0,37	33.589,89 €
	2010	361	0,34	35.028,95 €
	2001	385	0,30	36.072,72 €
	2002	393	0,33	36.051,23 €
Helsínquia	2003	401	0,35	35.784,04 €
	2004	409	0,38	37.091,98 €
	2005	417	0,40	38.164,57 €
	2006	426	0,37	39.823,10 €
	2007	436	0,33	41.424,90 €
	2008	446	0,30	41.790,35 €
	2009	456	0,24	39.038,26 €
	2010	463	0,20	40.178,46 €
	2011	471	0,16	41.194,52 €
Lisboa	1993	330	1,04	12.781,47 €
	1994	352	0,97	13.537,77 €
	1995	374	1,05	14.254,97 €
	1996	396	1,05	14.936,01 €
	1997	418	0,97	15.394,38 €
	1998	440	0,82	15.803,69 €
	1999	462	0,78	16.251,18 €
	2000	484	0,73	17.509,20 €
	2001	506	0,65	17.676,82 €
	2002	528	0,64	17.681,17 €
	2003	550	0,60	17.386,64 €
	2004	572	0,50	17.646,29 €
	2005	594	0,48	17.715,69 €
	2006	616	0,45	17.787,71 €
	2007	638	0,42	18.584,94 €
	2008	660	0,40	18.420,80 €
	2009	682	0,38	17.673,02 €
	2010	704	0,36	17.935,39 €
	2011	726	0,34	17.706,45 €

Sistema	Ano	Variáveis externas		
		Taxa de motorização	Nº mortos acid. rodov. por 1000 hab.	PIB <i>per capita</i>
Londres	1994	324	0,45	29.873,12 €
	1995	332	0,45	29.880,55 €
	1996	340	0,44	29.646,52 €
	1997	346	0,44	29.717,34 €
	1998	351	0,43	29.671,97 €
	2002	373	0,43	36.572,15 €
	2003	386	0,43	34.437,57 €
	2004	399	0,40	35.987,07 €
	2005	396	0,40	36.331,48 €
	2006	393	0,40	37.276,56 €
	2010	413	0,31	30.046,43 €
	2011	418	0,28	29.685,59 €
Madrid	1997	468	0,38	18.053,66 €
	1998	473	0,40	18.769,90 €
	2000	482	0,39	21.256,01 €
	2001	495	0,37	21.638,10 €
	2002	505	0,36	21.641,58 €
	2003	496	0,36	21.710,63 €
	2004	509	0,32	21.945,11 €
	2005	504	0,30	22.276,47 €
	2006	515	0,27	22.895,45 €
	2007	524	0,23	24.030,85 €
	2008	524	0,20	23.690,58 €
	2009	514	0,17	22.196,97 €
	2010	530	0,14	22.084,10 €
Milão	1990	599	0,84	31.821,57 €
	1991	595	0,84	30.046,26 €
	1992	590	0,83	28.966,58 €
	1993	585	0,74	27.495,34 €
	1994	580	0,73	27.095,41 €
	1995	576	0,72	26.521,60 €
	1996	571	0,69	25.523,07 €
	1997	566	0,69	25.757,17 €
	1998	561	0,65	25.926,44 €
	1999	556	0,69	26.433,24 €
	2000	552	0,69	26.712,37 €
	2001	547	0,69	26.718,60 €
	2002	542	0,69	25.840,53 €
	2003	537	0,63	24.936,22 €
	2004	594	0,59	24.229,43 €
	2005	589	0,60	23.562,31 €

Sistema	Ano	Variáveis externas		
		Taxa de motorização	Nº mortos acid. rodov. por 1000 hab.	PIB <i>per capita</i>
Munique	2003	473	0,57	42.181,70 €
	2004	478	0,50	42.586,19 €
	2005	463	0,48	43.017,73 €
	2006	447	0,45	43.489,07 €
	2007	432	0,42	44.922,98 €
	2008	417	0,40	43.321,50 €
	2009	422	0,37	41.685,98 €
	2010	405	0,34	43.471,88 €
Paris	1992	313	0,08	32.952,66 €
	1993	319	0,08	31.968,69 €
	1994	325	0,07	32.223,35 €
	1995	332	0,07	32.260,55 €
	1996	338	0,07	32.883,47 €
	1997	344	0,06	32.986,69 €
	1998	351	0,07	33.783,77 €
	1999	370	0,06	35.451,49 €
	2000	372	0,06	37.119,20 €
	2001	375	0,06	37.260,01 €
	2002	378	0,06	37.507,88 €
	2003	381	0,05	37.726,35 €
	2004	383	0,04	37.795,60 €
	2005	386	0,04	38.468,92 €
	2006	389	0,04	38.776,88 €
	2007	388	0,04	42.401,70 €
	2008	405	0,03	42.559,86 €
	2009	411	0,03	40.213,21 €
	2010	416	0,03	40.813,84 €
Porto	2003	550	0,60	12.685,95 €
	2004	572	0,50	12.770,05 €
	2005	594	0,48	12.856,52 €
	2006	616	0,45	12.866,18 €
	2007	638	0,42	13.678,78 €
	2008	660	0,40	13.574,18 €
	2009	682	0,38	12.715,79 €
	2010	704	0,36	12.904,57 €
	2011	726	0,34	12.739,85 €

Sistema	Ano	Variáveis externas		
		Taxa de motorização	Nº mortos acid. rodov. por 1000 hab.	PIB <i>per capita</i>
Praga	2002	442	1,04	11.474,00 €
	2003	452	1,05	11.581,71 €
	2004	461	1,00	12.013,81 €
	2005	468	0,92	13.620,45 €
	2006	475	0,85	15.223,82 €
	2007	482	0,77	16.385,49 €
	2008	489	0,70	19.322,24 €
	2009	489	0,63	16.924,04 €
	2010	490	0,57	18.039,34 €
	2011	490	0,57	18.039,34 €
Roma	2001	587	1,15	20.607,18 €
	2002	586	1,16	19.929,95 €
	2003	584	1,04	19.232,50 €
	2004	698	0,98	18.687,38 €
	2005	699	1,00	23.455,96 €
	2006	699	0,92	25.840,25 €
	2007	699	0,85	28.224,54 €
	2008	700	0,77	27.699,40 €
	2009	748	0,70	26.078,38 €
	2010	769	0,63	26.489,34 €
Turim	2006	627	0,65	19.017,99 €
	2008	623	0,55	23.419,17 €
	2009	622	0,50	22.048,63 €
	2010	620	0,45	22.396,09 €
	2011	618	0,41	22.370,95 €

A.2. EVOLUÇÃO DAS EFICIÊNCIAS E EFICÁCIAS EM CADA SISTEMA

Sistema	Ano	Carruagens.km		Passageiros/km rede	
		E[u e]	Eficiência	E[u e]	Eficácia
Barcelona	1999	0,0174	98,28%	0,0598	94,20%
Barcelona	2000	0,0181	98,21%	0,0561	94,54%
Barcelona	2001	0,0263	97,40%	0,0683	93,40%
Barcelona	2002	0,0201	98,01%	0,0585	94,32%
Barcelona	2003	0,0145	98,56%	0,0554	94,61%
Barcelona	2004	0,0165	98,36%	0,0519	94,94%
Barcelona	2005	0,0173	98,28%	0,0793	92,38%
Barcelona	2006	0,0288	97,16%	0,1046	90,07%
Barcelona	2007	0,0209	97,93%	0,1501	86,06%
Barcelona	2008	0,0201	98,01%	0,1563	85,53%
Barcelona	2009	0,0348	96,58%	0,2280	79,61%
Barcelona	2010	0,0283	97,21%	0,1970	82,12%
Barcelona	2011	0,0184	98,18%	0,1885	82,82%
Berlim	2002	0,0277	97,27%		
Berlim	2003	0,0347	96,59%		
Berlim	2004	0,0471	95,40%		
Berlim	2005	0,0310	96,95%		
Berlim	2006	0,0346	96,60%	0,2250	79,85%
Berlim	2007	0,0494	95,18%	0,2497	77,90%
Berlim	2008			0,2960	74,38%
Berlim	2009			0,1710	84,28%
Berlim	2010			0,1947	82,31%
Bruxelas	2003			0,1387	87,05%
Bruxelas	2004			0,1354	87,34%
Bruxelas	2005	0,6291	53,31%	0,0972	90,74%
Bruxelas	2006	0,6481	52,30%	0,0760	92,68%
Bruxelas	2007			0,0640	93,80%
Bruxelas	2008			0,0620	93,99%
Bruxelas	2009			0,1807	83,47%
Bruxelas	2010			0,1066	89,89%
Budapeste	1996	0,0251	97,52%	0,2623	76,93%
Budapeste	1997	0,0267	97,37%	0,1232	88,41%

Sistema	Ano	Carruagens.km		Passageiros/km rede	
		E[u e]	Eficiência	E[u e]	Eficácia
Budapeste	1998	0,0200	98,02%	0,1802	83,51%
Budapeste	1999	0,0303	97,02%	0,1688	84,47%
Budapeste	2000	0,0266	97,38%	0,1422	86,74%
Budapeste	2001	0,0248	97,55%	0,1421	86,75%
Budapeste	2002	0,0402	96,06%	0,1651	84,78%
Budapeste	2003	0,0358	96,48%	0,1895	82,74%
Budapeste	2004			0,2665	76,61%
Budapeste	2005			0,3026	73,89%
Budapeste	2006			0,2714	76,23%
Budapeste	2007			0,2663	76,62%
Budapeste	2008	0,0557	94,58%	0,2616	76,98%
Budapeste	2009	0,0855	91,81%	0,3024	73,90%
Budapeste	2010	0,1090	89,67%	0,2721	76,18%
Düsseldorf	2003				
Düsseldorf	2004				
Düsseldorf	2005				
Düsseldorf	2006				
Düsseldorf	2007				
Düsseldorf	2008				
Düsseldorf	2009	2,0089	13,41%		
Düsseldorf	2010	2,0408	12,99%		
Düsseldorf	2011	1,9924	13,64%		
Essen	2000	1,4932	22,47%		
Essen	2001	1,4855	22,64%		
Essen	2002	1,0857	33,77%		
Essen	2003	1,1148	32,80%		
Essen	2004	1,1063	33,08%		
Essen	2005	1,1514	31,62%		
Essen	2006	1,1660	31,16%		
Essen	2007	1,1947	30,28%		
Essen	2008				
Essen	2009				
Frankfurt	2000			0,9130	40,13%
Frankfurt	2001			0,8489	42,79%
Frankfurt	2002			0,8732	41,76%
Frankfurt	2003			0,8972	40,77%
Frankfurt	2004			0,9111	40,21%
Frankfurt	2005			0,9215	39,79%
Frankfurt	2006			0,8975	40,76%
Frankfurt	2007			0,7438	47,53%
Frankfurt	2008			0,7518	47,15%
Frankfurt	2009			0,7957	45,13%
Frankfurt	2010			0,7659	46,49%

Sistema	Ano	Carruagens.km		Passageiros/km rede	
		E[u e]	Eficiência	E[u e]	Eficácia
Glasgow	1997	0,0752	92,76%	0,8597	42,33%
Glasgow	1998	0,0919	91,22%	0,8420	43,08%
Hamburgo	2003	0,1122	89,39%	0,7824	45,73%
Hamburgo	2004	0,1398	86,95%	0,8085	44,55%
Hamburgo	2005	0,0965	90,80%	0,7476	47,35%
Hamburgo	2006	0,0619	94,00%	0,7483	47,32%
Hamburgo	2007	0,0889	91,49%	0,7389	47,76%
Hamburgo	2008	0,0775	92,54%	0,7306	48,16%
Hamburgo	2009	0,0723	93,03%	0,6851	50,40%
Hamburgo	2010	0,0510	95,03%	0,6799	50,67%
Helsínquia	2001			0,0722	93,03%
Helsínquia	2002			0,0650	93,71%
Helsínquia	2003			0,0783	92,47%
Helsínquia	2004			0,1097	89,61%
Helsínquia	2005			0,1143	89,20%
Helsínquia	2006			0,1219	88,52%
Helsínquia	2007			0,1309	87,73%
Helsínquia	2008			0,1383	87,08%
Helsínquia	2009			0,1534	85,78%
Helsínquia	2010			0,1708	84,30%
Helsínquia	2011			0,1435	86,63%
Lisboa	1993	0,0748	92,79%	0,0379	96,28%
Lisboa	1994	0,0504	95,08%	0,0526	94,88%
Lisboa	1995	0,1269	88,08%	0,1591	85,29%
Lisboa	1996	0,1748	83,96%	0,2372	78,88%
Lisboa	1997	0,3275	72,07%	0,5142	59,80%
Lisboa	1998	0,3366	71,42%	0,2462	78,18%
Lisboa	1999	0,3305	71,86%	0,3518	70,34%
Lisboa	2000	0,1320	87,63%	0,1848	83,13%
Lisboa	2001	0,2655	76,68%	0,2784	75,70%
Lisboa	2002	0,2316	79,33%	0,2399	78,67%
Lisboa	2003	0,2126	80,85%	0,2619	76,96%
Lisboa	2004	0,2064	81,35%	0,1970	82,12%
Lisboa	2005	0,1590	85,30%	0,1801	83,52%
Lisboa	2006	0,1935	82,41%	0,2049	81,47%
Lisboa	2007	0,2130	80,82%	0,2215	80,13%
Lisboa	2008	0,2550	77,49%	0,2206	80,20%
Lisboa	2009	0,1295	87,85%	0,2298	79,47%
Lisboa	2010	0,0733	92,93%	0,5670	56,72%
Lisboa	2011				

Sistema	Ano	Carruagens.km		Passageiros/km rede	
		E[u e]	Eficiência	E[u e]	Eficácia
Londres	1994	0,0309	96,96%	0,4701	62,49%
Londres	1995	0,0304	97,01%	0,4625	62,97%
Londres	1996	0,0381	96,26%	0,5163	59,67%
Londres	1997	0,0319	96,86%	0,5127	59,89%
Londres	1998	0,0250	97,53%	0,4440	64,15%
Londres	2002	0,0343	96,63%	0,3250	72,25%
Londres	2003	0,0285	97,19%	0,3535	70,22%
Londres	2004	0,0263	97,40%	0,3480	70,61%
Londres	2005	0,0353	96,53%	0,3854	68,02%
Londres	2006	0,0397	96,11%	0,3639	69,50%
Londres	2010	0,0443	95,67%	0,4815	61,79%
Londres	2011	0,0342	96,64%	0,4444	64,12%
Madrid	1997	0,0602	94,16%	0,1207	88,63%
Madrid	1998	0,0894	91,45%	0,1356	87,32%
Madrid	2000	0,0557	94,58%	0,0701	93,23%
Madrid	2001	0,0423	95,86%	0,0640	93,80%
Madrid	2002	0,0763	92,65%	0,0667	93,55%
Madrid	2003	0,0823	92,10%	0,0555	94,60%
Madrid	2004	0,0706	93,18%	0,0616	94,03%
Madrid	2005	0,0861	91,75%	0,0564	94,52%
Madrid	2006	0,1974	82,09%	0,0956	90,88%
Madrid	2007	0,1448	86,52%	0,1592	85,28%
Madrid	2008	0,1596	85,25%	0,2201	80,24%
Madrid	2009	0,2064	81,35%	0,2593	77,16%
Madrid	2010	0,2672	76,55%		
Milão	1990	0,0695	93,29%	0,2157	80,60%
Milão	1991	0,0702	93,22%	0,1910	82,61%
Milão	1992	0,0455	95,55%	0,1673	84,59%
Milão	1993	0,0673	93,49%	0,1971	82,11%
Milão	1994	0,0600	94,18%	0,2136	80,77%
Milão	1995	0,0687	93,36%	0,2160	80,57%
Milão	1996	0,0601	94,17%	0,2199	80,26%
Milão	1997	0,0600	94,18%	0,2296	79,49%
Milão	1998	0,0905	91,35%	0,2419	78,51%
Milão	1999	0,0801	92,30%	0,2355	79,02%
Milão	2000	0,0764	92,64%	0,2754	75,93%
Milão	2001	0,0710	93,15%	0,2736	76,06%
Milão	2002	0,1002	90,47%	0,3000	74,08%
Milão	2003	0,1100	89,58%	0,3162	72,89%
Milão	2004	0,0999	90,49%	0,3436	70,92%
Milão	2005	0,1092	89,66%	0,3382	71,31%

Sistema	Ano	Carruagens.km		Passageiros/km rede	
		E[u/e]	Eficiência	E[u/e]	Eficácia
Munique	2003	1,7946	16,62%	0,3382	71,31%
Munique	2004	1,7893	16,71%		
Munique	2005	1,8338	15,98%		
Munique	2006	1,8661	15,47%	0,0603	94,15%
Munique	2007	1,8537	15,67%		
Munique	2008	1,8406	15,87%		
Munique	2009	1,8255	16,11%		
Munique	2010	1,8598	15,57%	0,0493	95,19%
Paris	1992	0,0335	96,71%	0,0711	93,14%
Paris	1993	0,0602	94,16%	0,0849	91,86%
Paris	1994	0,0508	95,05%	0,0891	91,48%
Paris	1995	0,1093	89,65%	0,1835	83,24%
Paris	1996	0,0584	94,33%	0,1423	86,74%
Paris	1997	0,0889	91,49%	0,1483	86,22%
Paris	1998	0,1293	87,87%	0,1512	85,97%
Paris	1999	0,0933	91,09%	0,1406	86,88%
Paris	2000	0,1079	89,77%	0,1188	88,80%
Paris	2001	0,1155	89,09%	0,1186	88,82%
Paris	2002	0,1674	84,59%	0,1215	88,56%
Paris	2003	0,1187	88,81%	0,1505	86,03%
Paris	2004	0,0975	90,71%	0,1159	89,06%
Paris	2005	0,1360	87,28%	0,1175	88,91%
Paris	2006	0,1443	86,56%	0,1054	90,00%
Paris	2007			0,1219	88,52%
Paris	2008			0,0919	91,22%
Paris	2009	0,1141	89,22%	0,0974	90,72%
Paris	2010	0,1233	88,40%	0,0965	90,80%
Porto	2003	0,1385	87,07%	1,9366	14,42%
Porto	2004	0,1487	86,18%	1,6942	18,37%
Porto	2005	0,1407	86,87%	1,1339	32,18%
Porto	2006	0,1735	84,07%	0,7884	45,46%
Porto	2007	0,1935	82,41%	0,6524	52,08%
Porto	2008	0,2728	76,12%	0,6067	54,51%
Porto	2009	0,2973	74,28%	0,5932	55,26%
Porto	2010	0,5288	58,93%	0,7594	46,79%
Porto	2011	0,5537	57,48%	0,7766	46,00%

Sistema	Ano	Carruagens.km		Passageiros/km rede	
		E[u e]	Eficiência	E[u e]	Eficácia
Praga	2002	0,3694	69,11%	0,1402	86,92%
Praga	2003	0,2854	75,17%	0,0829	92,04%
Praga	2004	0,2915	74,71%	0,0736	92,90%
Praga	2005	0,2456	78,22%	0,0696	93,28%
Praga	2006	0,2921	74,67%	0,0669	93,53%
Praga	2007	0,2950	74,45%	0,0593	94,24%
Praga	2008	0,1329	87,56%	0,0360	96,46%
Praga	2009	0,1514	85,95%	0,0386	96,21%
Praga	2010	0,1369	87,21%	0,0322	96,83%
Roma	2001	0,0421	95,88%	0,0920	91,21%
Roma	2002	0,0354	96,52%	0,0983	90,64%
Roma	2003	0,0639	93,81%	0,0979	90,67%
Roma	2004	0,0590	94,27%	0,1510	85,98%
Roma	2005	0,0905	91,35%	0,2450	78,27%
Roma	2006	0,0536	94,78%	0,1573	85,44%
Roma	2007	0,0556	94,59%	0,1087	89,70%
Roma	2008	0,0387	96,20%	0,1053	90,01%
Roma	2009	0,0601	94,17%	0,1666	84,65%
Roma	2010	0,0917	91,24%	0,1955	82,24%
Turim	2006	0,0940	91,03%	1,7381	17,59%
Turim	2008	0,0183	98,19%		
Turim	2009	0,0035	99,65%		
Turim	2010	0,0336	96,70%		
Turim	2011	0,0148	98,53%		

- Disponível em WWW: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Metropolitano>>.
- Albalade, Daniel; Bel, Germà - Factors explaining urban transport systems in large European cities: A cross-sectional approach. 2009.
- da Silva, João Oliveira Correia - Rendimentos à escala. Faculdade de Economia da Universidade do Porto: 2011.
- de Sousa, Maria Inês Ferreira Drumond - A Medição da Actividade Económica. Faculdade de Economia da Universidade do Porto: 2007.
- Esteves, E.; Sousa, C. - Regressão Linear Múltipla. Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve: 2007.
- Franco, Francisco; Fortuna, Mário - O método de fronteira estocástica na medição da eficiência dos serviços hospitalares: uma revisão bibliográfica. Lisboa: Edição da Associação Portuguesa de Economia da Saúde, 2003.
- Lobo, António Manuel Cabral Vieira - Análise da Exploração de Redes Urbanas de Transporte Ferroviário. FEUP: Universidade do Porto, 2008.
- Lobo, António; Couto, António - Analysis of the operational performance of european urban rail transport networks - production efficiency and effectiveness. 2010.
- Rodrigue, J-P - The Geography of Transport Systems. 2009. Disponível em WWW: <<http://people.hofstra.edu/geotrans>>.
- Santos, Carina Joana Pinto - Análise do Desempenho dos Metropolitano na Europa. Instituto Superior Técnico: Universidade Técnica de Lisboa, 2008.
- Santos, Joana; Simões, Pedro; Costa, Álvaro e Cunha Marques, Rui - Efficiency of the Portuguese metros. is it different from other European metros? 2010.

(Albalade, D.B., Germà, 2009, da Silva, J.O.C., 2011, de Sousa, M.I.F.D., 2007, Esteves, E.S., C., 2007, Franco, F.F., Mário, 2003)